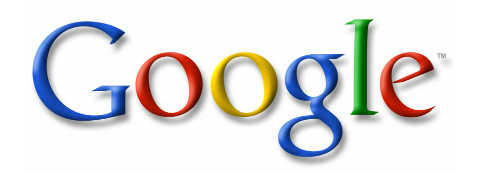
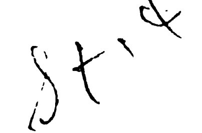
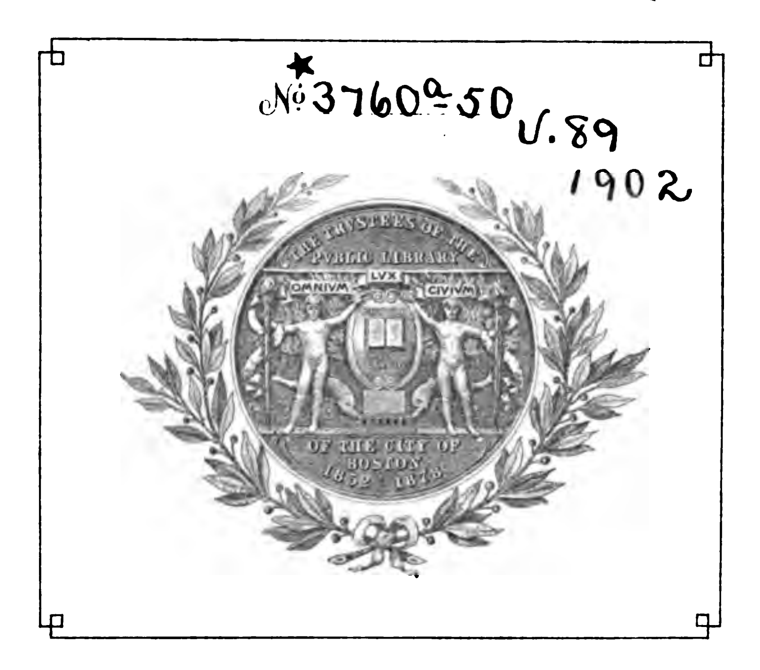


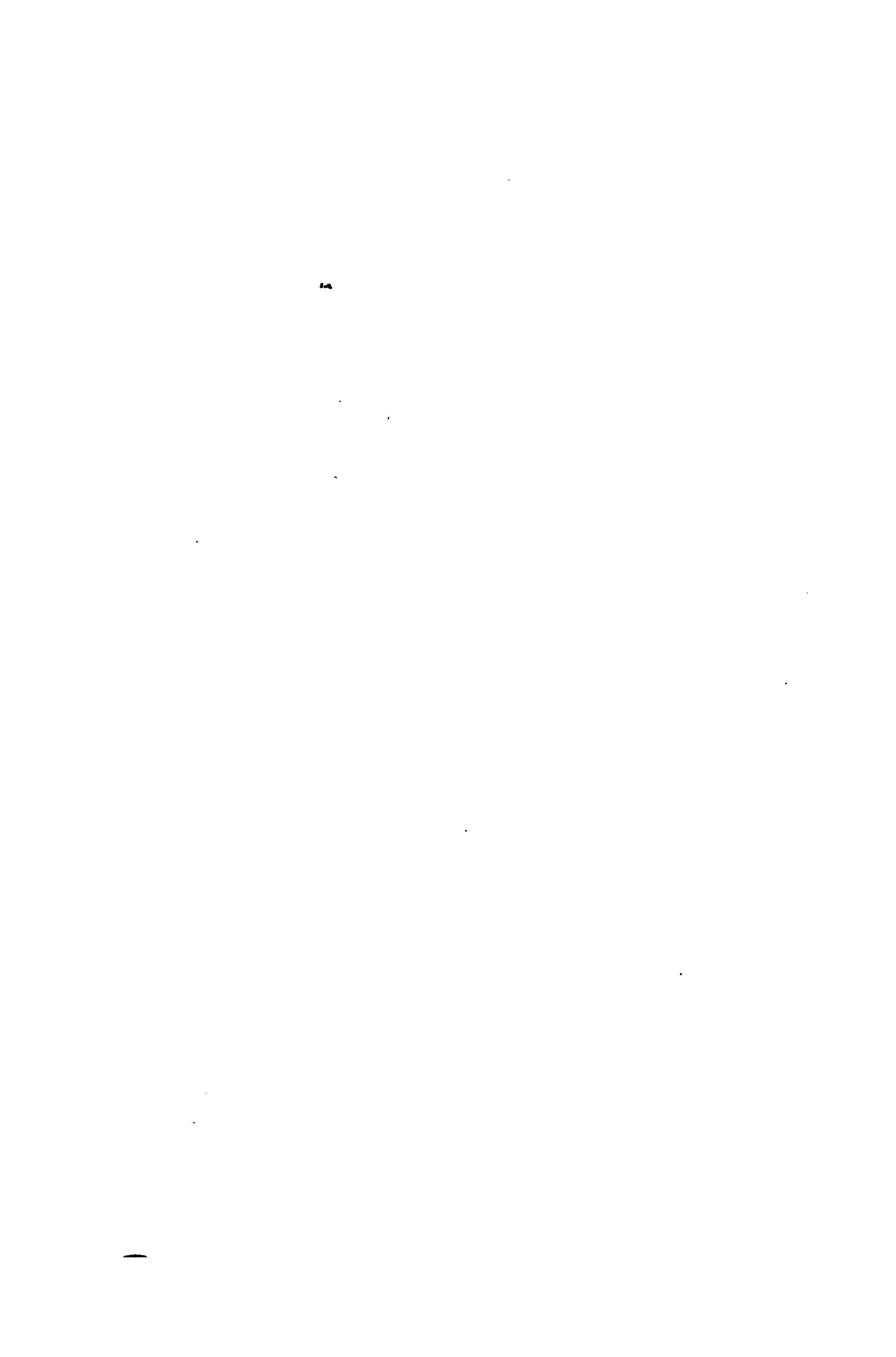



THE TRVSTEES OF THE
PVBLIC LIBRARY
LVX
OMNIVM
CIVIVM
OF THE CITY OF
BOSTON
1852 1878

7/29

2

12/12



ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

NEUNUNDACHTZIGSTER BAND.

ERSTES UND ZWEITES HEFT.

MIT 6 TAFELN UND 14 TEXTFIGUREN.

BONN, 1902.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.

Ausgegeben am 22. Januar 1902.

Inhalt.

Seite

Beiträge zur Kenntniss der Topographie der Wärme-Empfindlichkeit. Von Dr. Elemér Veress, Assistenten des Institutes. (Mit 1 Textfigur und Tafel I—VI.) (Aus dem physiol. Institut der kgl. ung. „Franz Josef"-Universität in Kolozsvár) . . . 1

Die Reizleitung im Säugethierherzen. Von Franz Schlüter. (Mit 13 Textfiguren.) (Aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock) 87

Weitere Mittheilung über den Kieselsäuregehalt thierischer und menschlicher Gewebe, insbesondere der Wharton'schen Sulze. Von Hugo Schulz. (Aus dem pharmakologischen Institut der Universität Greifswald) 112

An die verehrlichen Abnehmer des Archiv für die gesammte Physiologie.

Nachdem bereits vor 1½ Jahren die Papierpreise durch Zusammenschluss aller deutschen Papierfabriken um pr. pr. 20 % erhöht worden sind, kündigt nunmehr der Vorstand des deutschen Buchdruckervereins durch Rundschreiben vom December des abgelaufenen Jahres an, dass im gesammten deutschen Buchdruckgewerbe mit dem 1. Januar 1902 eine neue Lohnvereinbarung zwischen den Buchdruckereibesitzern und ihren Gehilfen in Kraft trete, welche eine allgemeine Erhöhung der Druckpreise bedinge. Die durch diese Vorgänge bewirkte sehr beträchtliche Steigerung der Herstellungskosten des Archives f. d. g. Physiologie macht es zur zwingenden Nothwendigkeit, **den Preis des Bandes dieses Archives,** beginnend mit dem 89. Bande, von 26 Mark

auf 27 Mark zu erhöhen.

Bonn, den 1. Januar 1902.

Der Herausgeber und **Der Verleger**

des Archives für die gesammte Physiologie des Menschen und der Thiere.

E. F. W. Pflüger. Emil Strauss.

ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

NEUNUNDACHTZIGSTER BAND.

MIT 12 TAFELN, 42 TEXTFIGUREN UND 5 FAHNENTABELLEN.

BONN, 1902.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.

Inhalt.

Erstes und zweites Heft.

Ausgegeben am 22. Januar 1902.

Seite

Beiträge zur Kenntniss der Topographie der Wärme-Empfindlichkeit. Von Dr. Elemér Veress, Assistenten des Institutes. (Mit 1 Textfigur und Tafel I—VI.) (Aus dem physiol. Institut der kgl. ung. „Franz Josef“-Universität in Kolozsvár.) 1

Die Reizleitung im Säugethierherzen. Von Franz Schlüter. (Mit 13 Textfiguren.) (Aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock.) 87

Weitere Mittheilung über den Kieselsäuregehalt thierischer und menschlicher Gewebe, insbesondere der Wharton'schen Sulze. Von Hugo Schulz. (Aus dem pharmakologischen Institut der Universität Greifswald.) 112

Drittes und viertes Heft.

Ausgegeben am 31. Januar 1902.

Die Blutbildung im Luftballon. Von Justus Gaule. (Mit 2 Textfiguren und Tafel VII.) (Aus dem physiologischen Institut der Universität Zürich.) 119

Ueber die Wärmeregulation bei Neugeborenen. (Respirometrische und calorimetrische Versuche.) Von Dr. Edward Babák, Assistent des Institutes. (Aus dem k. k. physiol. Institut der böhm. Universität in Prag.) [Vorstand des Institutes Prof. Dr. Mareš.] 154

Erwiderung auf die Arbeit von Dr. R. O. Neumann: „Die Wirkung des Alkohols als Eiweisssparer“. (Archiv für Hygiene Bd. 41.) Von Dr. Rudolf Rosemann, Privatdocent und Assistent am physiol. Institut zu Greifswald . 178

Fünftes und sechstes Heft.

Ausgegeben am 1. Februar 1902.

Seite

Ueber Kalkseifen als Beweise gegen die in wässriger Lösung sich vollziehende Resorption der Fette. Von E. Pflüger. (Aus dem physiologischen Laboratorium in Bonn.) 211

Zur Kenntniss des P-, Ca- und Mg-Umsatzes bei Pflanzenfressern. Von Prof. Dr. med. F. Tangl. (Aus der kgl. ung. thierphysiologischen Versuchsstation in Budapest.) 227

Zur anatomischen Grundlegung der Kleinhirnphysiologie. Mit Bemerkungen über Ataxie und Bewusstsein. Von Dr. Oscar Kohnstamm (Königstein i. T.) 240

Wie schützt sich der Verdauungstract vor Verletzungen durch spitze Fremdkörper? Von Dr. Alfred Exner, Operationszögling der II. chirurgischen Klinik in Wien 253

Zur Fachsprache des Physiologen. Von Prof. H. E. Hering (Prag) 281

Ueber die gleichsinnige Aenderung der Schlagfrequenz und der refractären Phase des menschlichen Herzens. Von Prof. H. E. Hering (Prag) 283

Siebentes und achtes Heft.

Ausgegeben am 26. Februar 1902.

Ueber die Beziehung der negativen Schwankung des Muskelstromes zur Arbeitsleistung des Muskels. Von J. Bernstein und A. Tschermak. (Mit 9 Textfiguren, 5 Fahnentabellen und Tafel VIII.) (Aus dem physiologischen Institut der Universität Halle a. S.) 289

Einfluss der Phasen auf die Klangfarbe. Von Em. ter Kuile, Specialarzt aus Amsterdam. (Mit 2 Textfiguren und Tafel IX, X u. XI.) 333

Neuntes und zehntes Heft.

Ausgegeben am 19. März 1902.

Beiträge zur Physiologie des Raumsinns. I. Theil. Neue Beobachtungen an den japanischen Tanzmäusen. Von E. v. Cyon 427

Ueber die Assimilationsenergie einiger Pilze, verglichen mit der grüner Pflanzen. Von Th. Bokorny in München . . . 454

Seite

Ueber die Beziehungen der galvanischen Reaction zur angeborenen und erworbenen Taubstummheit. Von Dr. G. Alexander, Assistent der Ohrenklinik an der Universität zu Wien, und Dr. A. Kreidl, a. ö. Prof. der Physiologie an der Universität zu Wien 475

Ueber die Verseifbarkeit einiger Säure-Amide und Säure-Anilide durch Fermente. Von Dr. M. Gonnermann 493

Zur Frage der Kohlehydrat-Zerlegung durch thierische und pflanzliche Fermente und Enzyme. Von Dr. Walther Nic. Clemm in Darmstadt 517

Elftes und zwölftes Heft.

Ausgegeben am 27. März 1902.

Zur Kenntniss der Duodenalverdauung des Eiweisses, in der Leiche untersucht. Von Dr. Carlo Ferrai, Assistent. (Mit 3 Textfiguren.) (Aus dem gerichtl.-med. Institut der Universität Genua [Prof. A. Severi].) 527

Weitere Untersuchungen über Nervenreizung durch frequente Wechselströme. II. Mittheilung. Ueber den Einfluss der Dämpfung auf die erregende Wirkung einer sinusoïdal oscillirenden Elektricitätsbewegung. Von W. Einthoven. (Mit 5 Textfiguren.) (Aus dem physiologischen Laboratorium der Universität Leyden.) 547

Erklärung zu L. Hermann's Jahresbericht der Physiologie 1901, betreffs der reflectorischen negativen Schwankung. Von J. Bernstein 592

Ueber Resonanztöne, erzeugt durch Annäherung von Flächen an die Ohrmuschel. Von Victor Urbantschitsch in Wien 594

Kurvenanalyse und Fehlerrechnung. Von L. Hermann. (Aus dem physiologischen Institut der Universität Königsberg i. Pr.) 600

Weitere Untersuchungen über die Innervation der Blase und der Harnröhre. Von Prof. Dr. M. v. Zeissl in Wien. (Mit 1 Textfigur.) (Aus dem Laboratorium für exp. Pathologie des Prof. Dr. S. v. Basch in Wien.) 605

Ueber ein einfaches Verfahren zur Ausmessung der Capillarelektrometer-Curven. Von Siegfried Garten. (Mit 6 Textfiguren und Tafel XII.) (Aus dem physiologischen Institut der Universität Leipzig.) 613

(Aus dem physiol. Institut der kgl. ung. „Franz Josef"-Universität in Kolozsvár.)

Beiträge zur Kenntniss der Topographie der Wärme-Empfindlichkeit.

Von

Dr. **Elemér Veress**, Assistenten des Institutes.

(Mit 1 Textfigur und Tafel I—VI.)

Inhalt.

	Seite
I. Einleitung	1
II. Beschreibung des Versuchsverfahrens	4
III. Besprechung der Versuchsfehler	11
1. Die Bedeutung der Adaptation	12
2. Der verschiedene Feuchtigkeitsgrad der Haut als Fehlerquelle	23
3. Die Wirkung der Nachempfindungen	24
4. Die Rolle der Hyperämie und der Veränderungen des Nullpunktes	29
5. Die Bedeutung der Mitempfindungen	32
6. Der Einfluss des Charakters der Empfindungen	34
IV. Aufzählung der Versuchsergebnisse	36
V. Analyse der Versuchsergebnisse	64
VI. Zusammenfassung	84

I. Einleitung.

Die Literatur des Temperatursinnes gibt über zahlreiche Thatsachen und Bedingungen der Temperaturempfindlichkeit der Körperoberfläche Aufschluss. Es fehlte indessen bisher eine einheitliche Durchmusterung der Temperaturempfindlichkeit der gesammten Körperoberfläche, mit Hülfe welcher man die Empfindlichkeit der einzelnen Körperregionen, auf Grund der Schwellenwerthe, miteinander vergleichen könnte.

Goldscheider hat zwar nahezu die ganze Körperoberfläche durchgeprüft und auch der auf dem Gebiete der Temperaturempfindlichkeit vorkommenden Lücken zur Genüge Erwähnung ge-

than, — doch stellen seine topographischen Abbildungen [1]) die, innerhalb der Grenzen der einzelnen Körperregionen gelegenen, kleineren graduellen Unterschiede nicht dar. Die einzelnen Regionen bieten auf seinen Abbildungen ein homogeneres Bild, als wir es auf Grund einer, mehr in's Detail gehenden Untersuchung erhalten können. Die von ihm aufgestellten Stufen der Empfindlichkeit — 12 für die Kälte- und 8 für die Wärme-Empfindlichkeit — sind Verhältnisszahlen, gleichsam Symbole und sozusagen nicht homologe Zahlenwerthe der Empfindlichkeit, kurz nicht Temperaturgrade. Eine andere topographische Bezeichnungsart Goldscheider's — „stark, mittelmässig, schwach empfindlich und unempfindlich" [2]) — gestattet ebenfalls nur eine allgemeine Orientirung.

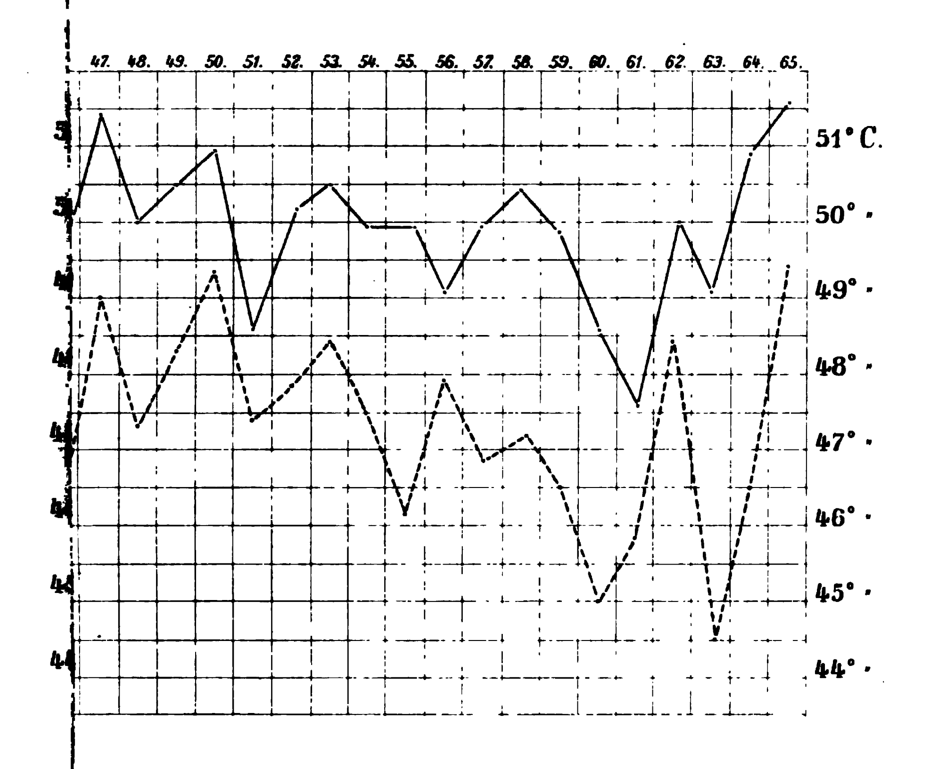
Mit Rücksicht auf diese Verhältnisse bin ich bereitwillig der Anregung des Herrn Prof. L. v. Udránszky gefolgt, die topographische Vertheilung der Temperaturempfindlichkeit auf der gesammten Körperoberfläche einer eingehenden Untersuchung zu unterwerfen. Die zu besprechenden Versuche, deren erste Gruppe ich unter gefälliger Mitwirkung des Herrn Universitätsassistenten Dr. Franz Parádi ausführte, erstrecken sich, genau genommen, nur auf die Hautoberfläche, nicht aber zugleich auch auf die Schleimhäute.

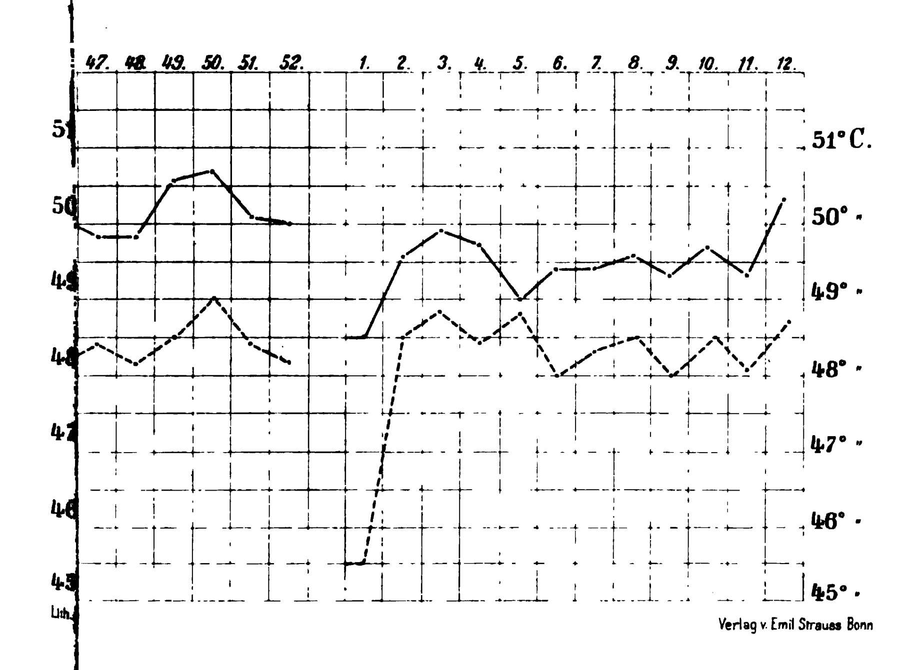
Bald nachdem ich die ersten Versuche ausgeführt habe, musste ich einsehen, dass der Rahmen der Bearbeitung der Frage, im Verhältniss zum ursprünglichen Plane, enger gefasst werden muss. Es musste nämlich davon abgesehen werden, dass auf Grund der eingehenden und ausführlichen Untersuchung der gesammten Körperoberfläche mehrerer Individuen solche Zahlen zu gewinnen seien, aus deren Mittelwerthen sich das topographische Bild der Temperaturempfindlichkeit ergeben könnte. Ebenso musste ich darauf verzichten, auf Grund ausführlicher Untersuchung der Temperaturempfindlichkeit der gesammten Körperoberfläche bei Männern und Frauen, bei Erwachsenen und Kindern, einen zahlengemässen Ausdruck dessen zu erhalten, inwiefern die Topographie der Temperaturempfindlichkeit der gesammten Körperoberfläche, von dem Geschlechte und von dem

---

1) Ueber die Topographie des Temperatursinnes. Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 301 Taf. 5—6. Leipzig, A. Barth, 1898.

2) Neue Thatsachen über Hautsinnesnerven. Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 157—177. (Topographie des Temperatursinnes.)

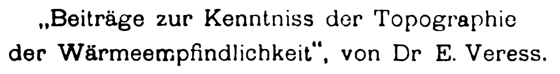




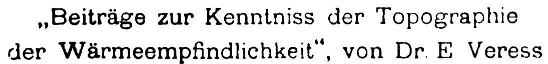
Lith.
Verlag v. Emil Strauss Bonn

44 45 46 47 48 49 50 51 52

44 45 46 47 48 49 50 51 52


„Beiträge zur Kenntniss der Topographie
der Wärmeempfindlichkeit", von Dr E. Veress.

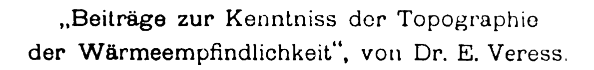
Verlag von Emil Str



„Beiträge zur Kenntniss der Topographie
der **Wärmeempfindlichkeit**“, von Dr. E. Veress

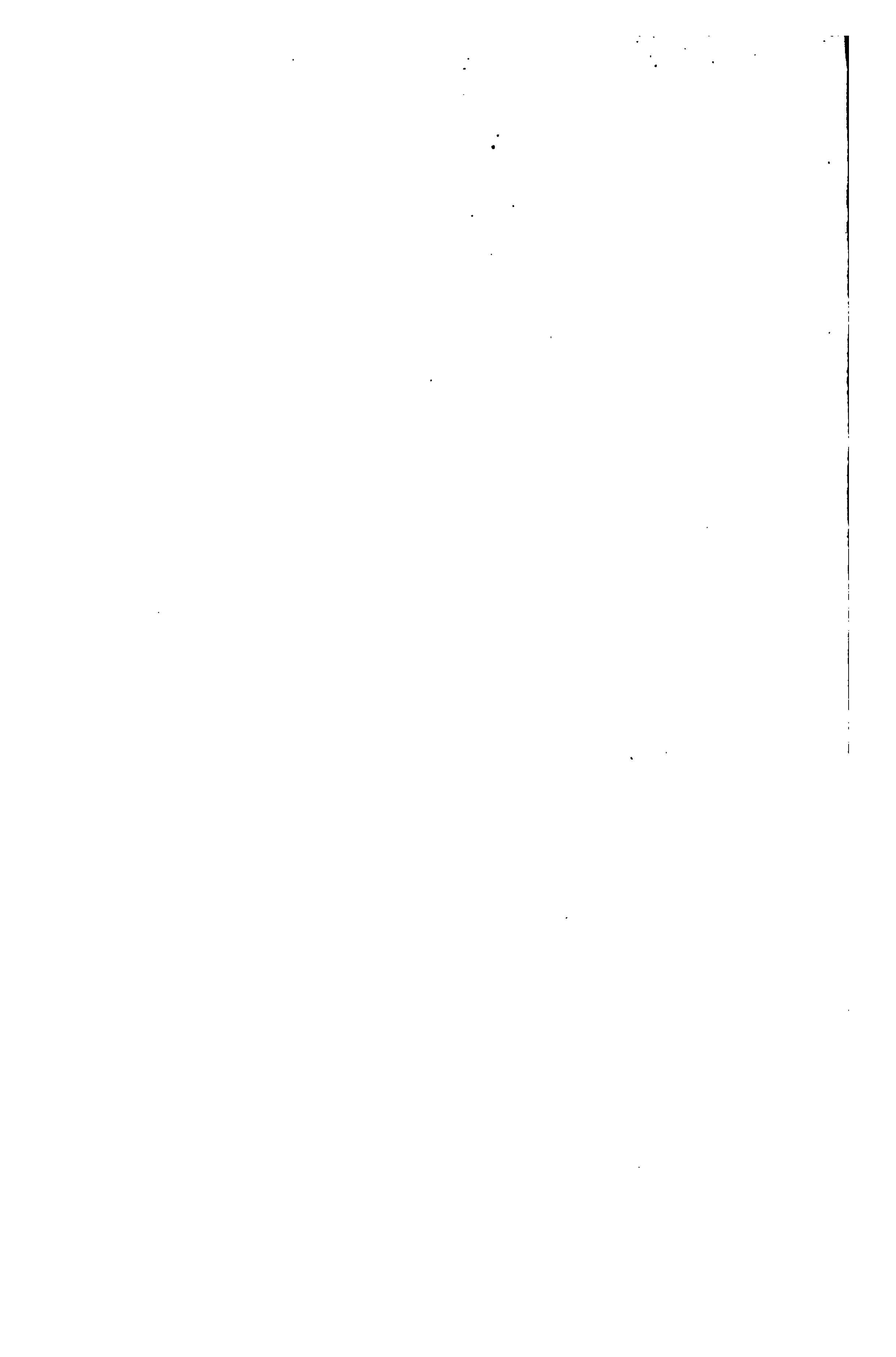






„Beiträge zur Kenntniss der Topographie der Wärmeempfindlichkeit", von Dr. E. Veress.

Verlag von Emil



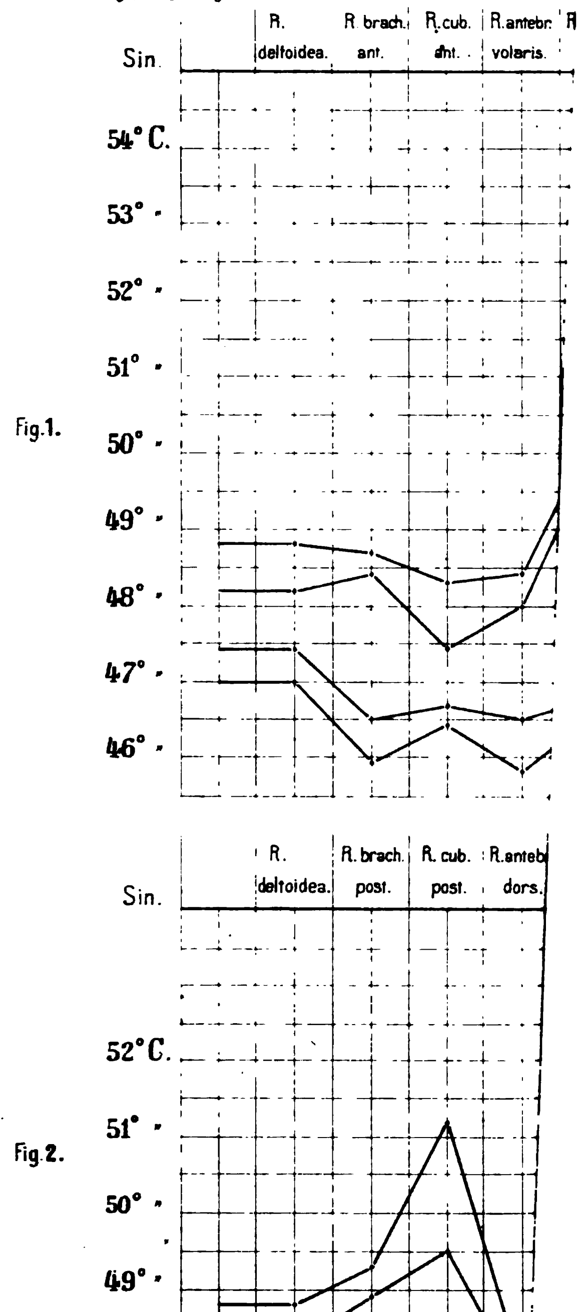
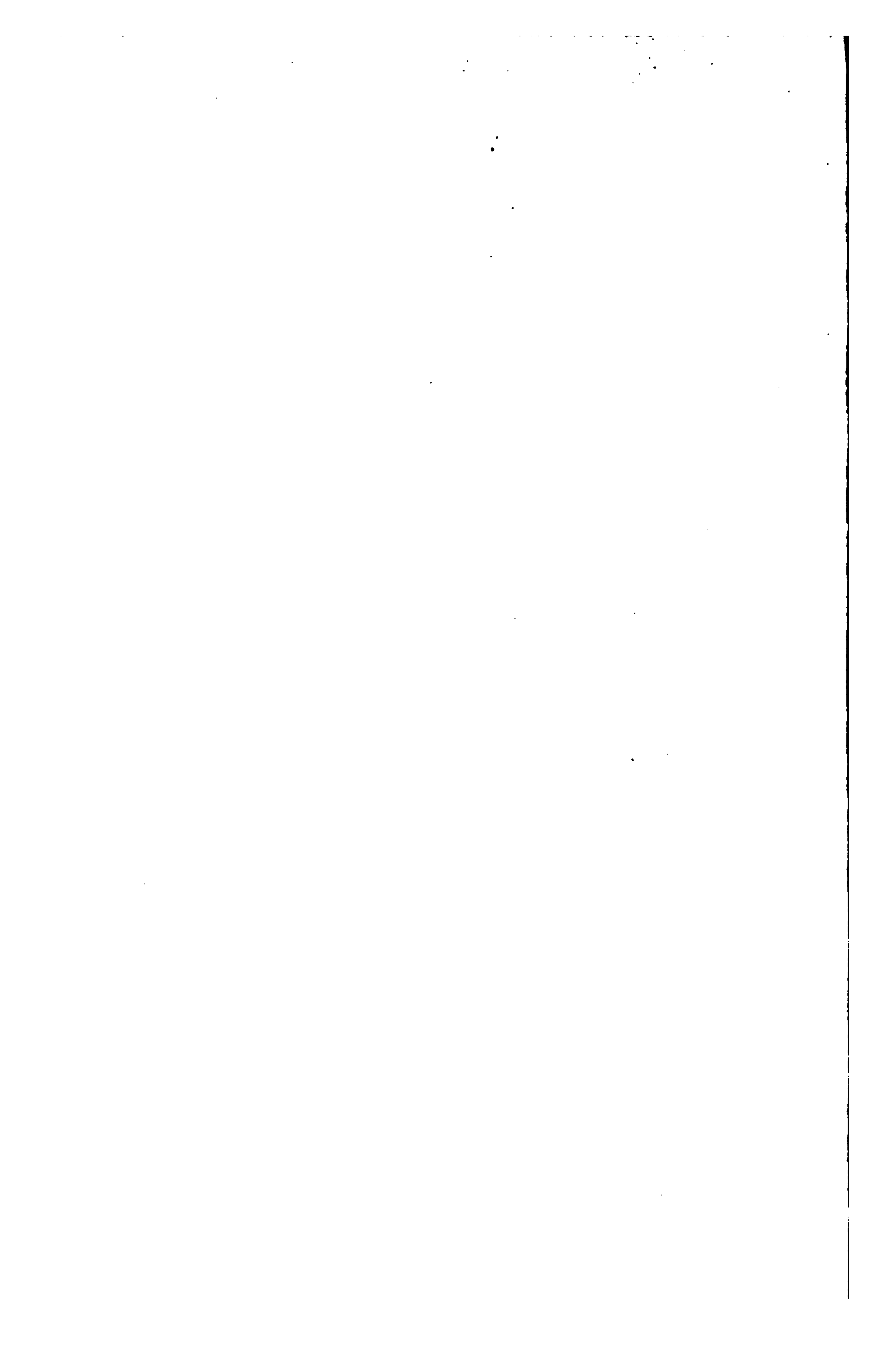


Fig. 1.

Fig. 2.

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.



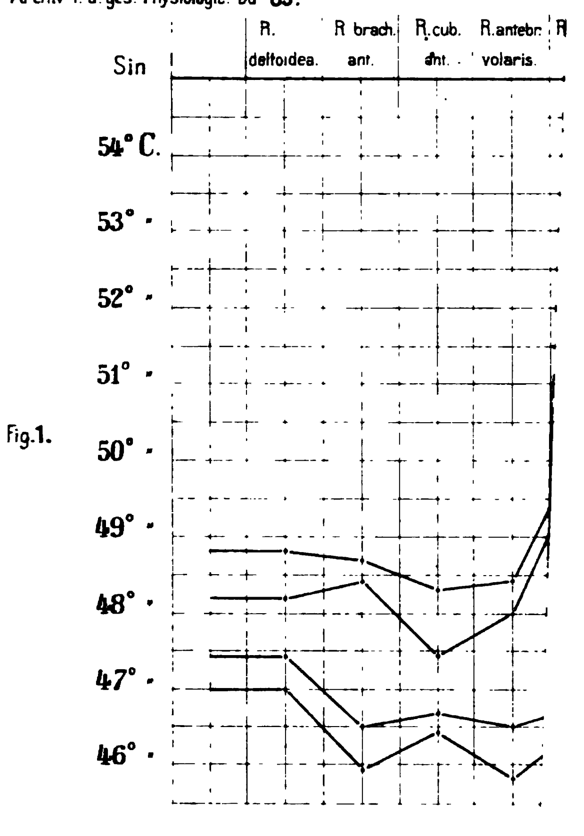


Fig. 1.

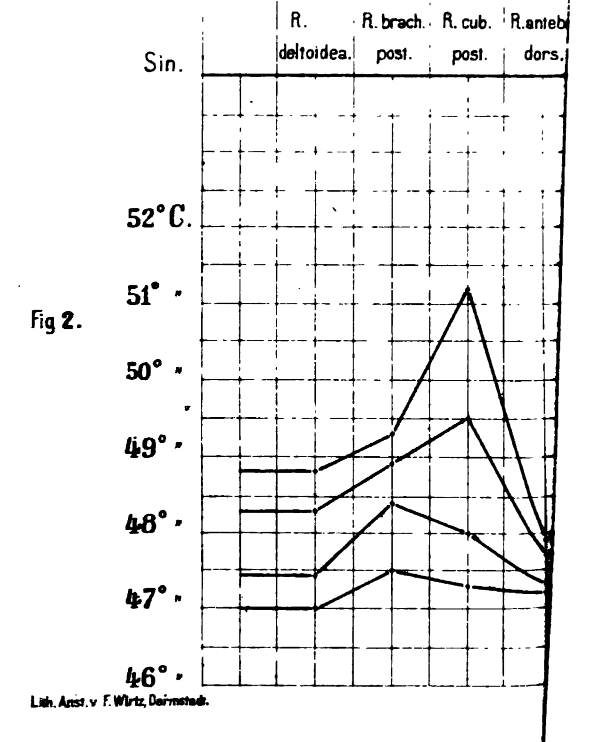


Fig 2.

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

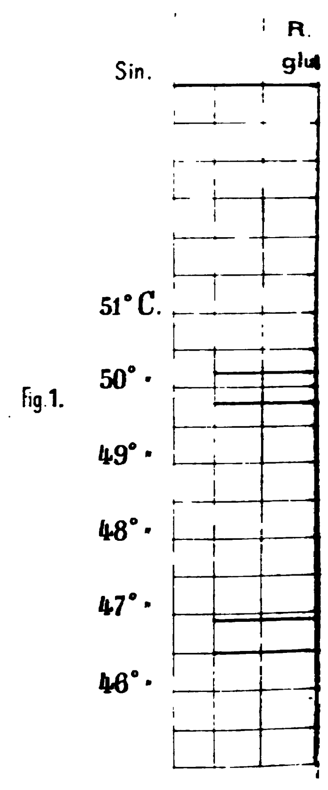


Fig. 1.

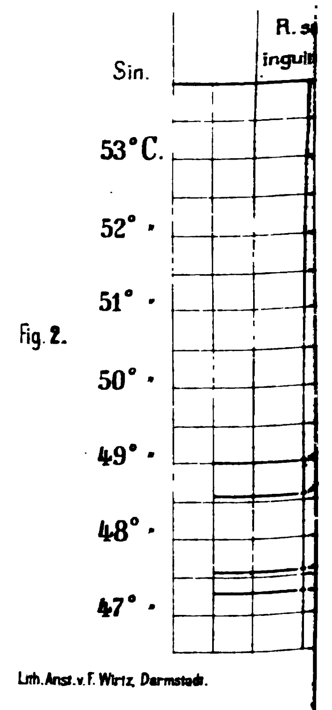


Fig. 2.

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

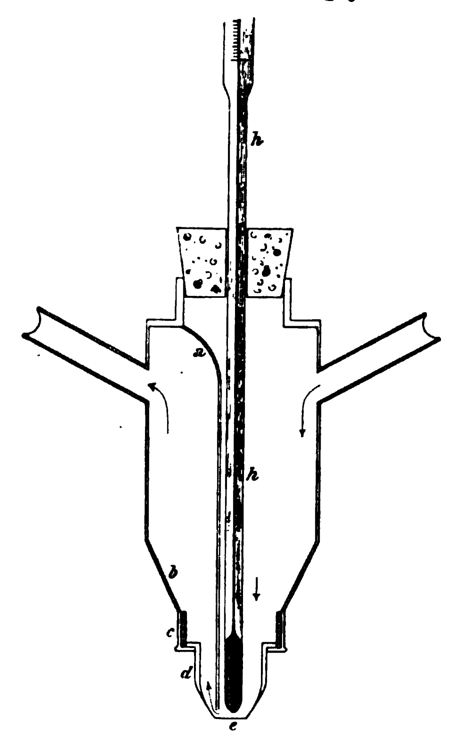
Alter beeinflusst wird. Ich musste mich damit begnügen, die Körperoberfläche eines Individuums, in möglichst kleine Abtheilungen gesondert, zu untersuchen, mit besonderer Berücksichtigung derjenigen Momente, welche die Gegenüberstellung der Daten auf gleicher Grundlage stören könnten. Das Ziel meiner Untersuchungen konnte also in Weiterem nicht mehr eine allgemein gültige Feststellung der topographischen Vertheilung der Temperaturempfindlichkeit über die ganze Körperoberfläche sein, da hierzu eine Zusammenfassung der Resultate der an zahlreichen Personen parallel ausgeführten Versuchen nothwendig wäre.

Nach den ersten orientirenden Versuchen musste ich weiterhin zu der Ueberzeugung gelangen, dass die eingehende und auf die gesammte Körperoberfläche sich erstreckende Untersuchung der Kälteempfindlichkeit in der Praxis mit solchen Schwierigkeiten verbunden ist, welche das klare Zusammenhalten der Versuchsreihen in hohem Grade gefährden. Es ist recht umständlich, und kaum glatt durchzuführen, dass die zur Auslösung der Kälte-Empfindungen nothwendigen Kältemischungen Monate, ja noch längere Zeit hindurch fortwährend in Bereitschaft sein sollen. Ebenso ist es besonders schwierig zu erreichen, dass wir die Kältereizung bei jedem einzelnen Versuche durch Auflegen eines, möglichst genau auf gleich niedriger Temperatur gehaltenen Körpers auf die Haut bewirken, und ferner, dass wir die zur Auslösung der einfachen Kälte-Empfindung und weiter der Kälte-Schmerzempfindung nothwendigen Temperaturänderungen stets in nach Möglichkeit gleicher Art bei der Hand haben sollen.

Bei dem von mir befolgten Versuchsverfahren war es dagegen leicht zu erreichen, dass die für die Auslösung der Wärme-Empfindung und weiter des Wärmeschmerzes nothwendigen Temperaturänderungen nach Möglichkeit die gleichen Zeitwerthe haben sollen, und unter möglichst gleichen Bedingungen zur Anwendung zu bringen seien. Eben desshalb habe ich in Weiterem nur die Wärme-Empfindlichkeit in ihrer topographischen Vertheilung untersucht. Aus später noch zu beleuchtenden Gründen wurden bei der Zusammenstellung des aus der zahlenmässigen Gegenüberstellung der Wärme-Empfindlichkeit der einzelnen Körperregionen sich ergebenden topographischen Bildes jene Wärmegrade als maassgebende Werthe betrachtet, welche Wärmeschmerz auszulösen im Stande sind.

II. Beschreibung des Versuchsverfahrens.

Als Versuchsinstrument diente mir ein, nach dem Principe der Perfusionsapparate gebautes, nach Angaben des Herrn Professor L. v. Udránszky vom Herrn Universitätsmechaniker Franz Lutze angefertigtes Thermästhesiometer, dessen Querschnitt in der beigegebenen Textfigur dargestellt ist. Das Instrument besteht im Wesentlichen aus einem oben und unten offenen, 10 cm langen, stark vernickelten Messingcylinder von 4 cm Durchmesser, dessen Innenraum durch die Metallplatte *a* in zwei ungleich grosse Hälften getheilt wird. Beiden Hälften entsprechend ist am oberen Theile des Cylinders in der Seitenwand je eine kurze Röhre eingelöthet, durch welche das erwärmte Wasser ein- resp. ausfliessen kann. Der Cylinder geht nach unten in einen 3 cm langen, stumpfen Kegel (*b*) über, welcher durch die Scheidewand ebenfalls in zwei ungleiche Theile getrennt wird. An das Ende dieses Kegels kann mittelst eines, mit Schraubenwindungen versehenen Ringes (*c*), das rundlich kegelförmige Endstück (*d*)[1]) befestigt werden, welches durch die Scheidewand gleichfalls in zwei Theile getrennt wird. Das



in das Thermästhesiometer hineinströmende erwärmte Wasser kann, in Folge der Lage der Scheidewand, nur so aus einer Hälfte des Apparates in die andere gelangen, dass es unmittelbar an der abgestumpften Spitze des Endstückes vorbeifliesst. Bis ebendahin, nämlich bis zur Spitze des Endstückes, kann das in den die obere Oeffnung des Apparates verschliessenden Kork eingefügte, eigens zu diesem Zwecke verfertigte, langhalsige, in $^1/_{10}$ C.-Grade eingetheilte Thermometer

1) Zu dem Apparate gehören mehrere Endstücke von verschiedener Form und Grösse, die je nach Bedarf ausgewechselt werden können.

hineingeschoben werden. Das Quecksilbergefäss dieses Thermometers kommt also im Wesentlichen mit derselben Wassermasse in Berührung, die gerade an der Spitze des Endstückes vorbeifliesst. Der Stand des Thermometers zeigt also jene Temperatur an, welche der Temperatur der zur Wärmereizung benützten Spitze des Endstückes im gegebenen Moment genau entspricht [1]).

Zu den Versuchen benützte ich stets ein Endstück, dessen abgestumpfte Spitze, oder also der mit der Haut in Berührung kommende Theil des Apparates, einen Durchmesser von 6 mm hatte. Diese Grösse der kreisförmigen Reizungsfläche (*e*) weist also schon darauf hin, dass es nicht das Ziel der Versuche war, die Temperaturpunkte aufzusuchen, sondern eher die durchschnittliche Empfindlichkeit der einzelnen Körperregionen zu bestimmen, dieselbe gewissermaassen compendiös zu charakterisiren. Da die Reizungsfläche grösser ist als der Abstand der Wärmepunkte von einander, so erhalten wir, wohin immer auf die Haut wir das Instrument auch auflegen, stets Wärmeempfindung, deren Stärke bei Anwendung von Reizen von gleicher Intensität, mit der Zahl der gereizten Punkte und der „Intensität" der Punkte in geradem Verhältnisse steht.

Die zu den Versuchen nothwendige Wärme und deren stets möglichst gleichmässige, mit $^{1}/_{10}$ ° C. messbaren Schwankungen gewann ich auf folgende Art: Den durch eine Mikrometerschraube einstellbaren Hahn der Wasserleitung verband ich mittelst eines Gummischlauches mit einem mit regulirbarer Gasheizung versehenen Hugershoff'schen transportablen Heisswassererzeuger, und aus diesem führte ich das nach Bedarf erwärmte Wasser ebenfalls mittelst eines Gummischlauches in das Thermästhesiometer. Da sowohl bei dem Hin- als auch beim Ableiten des Wassers Gummischläuche zur

1) Zum Apparate gehört noch eine die festere Stellung des langstieligen Thermometers sichernde und aus dem Körper des Apparates herausreichende 34 cm lange Stützscheide, sowie ein zur bequemeren Handhabung des Apparates erforderlicher, starker Holzgriff, welcher an den Körper des Apparates in dem mittleren Drittel desselben befestigt ist, mit Rücksicht auf die Lage des Schwerpunktes des mit Wasser gefüllten und mit Thermometer versehenen ganzen Apparates. Diese Theile sind der Einfachheit halber in der Zeichnung nicht angeführt. Es ist hier am Platze zu erwähnen, dass ich die zu den Versuchen benützten Thermometer mit Geissler'schen „Normalthermometern" wiederholt verglichen habe, und dass also alle in dieser Arbeit angegebenen Zahlen corrigirte Werthe darstellen.

Verwendung kommen, kann der Apparat nach allen Richtungen frei bewegt werden, was besonders für die bequeme Untersuchung der verschieden gelegenen Körperregionen von Bedeutung ist.

Mit Hülfe der beschriebenen Versuchsanordnung kann die, zur graduellen Reizung der Haut benützte, in gewünschter Weise regulirbare Steigerung der Temperatur nach Belieben mit verschiedener Geschwindigkeit geschehen. Dies ist besonders bei der Bestimmung des das Auftreten der Schmerzempfindung bezeichnenden Wärmegrades nothwendig. Die genaue Regulirung erreicht man vor allem dadurch, dass man durch stärkeres oder schwächeres Oeffnen des Hahnes das Wasser bald in dickem, bald in dünnem Strahle dem Heisswassererzeuger zuführt. Je mehr der Hahn geöffnet wird, um so langsamer steigt die Quecksilbersäule des Thermometers in der Zeiteinheit; bei dünnerem Wasserstrahle wird dagegen die Steigung rascher vor sich gehen. Andererseits kann die Erwärmung des Wassers auch dadurch regulirt werden, dass man die Gashähne des Heisswassererzeugers stärker oder weniger öffnet. Dies ist nur selten nothwendig, und hauptsächlich dann, wenn der Gasdruck während des Versuches schwankt.

Die Versuche führte ich an mir selbst aus. Bei solchen Körperregionen, zu welchen ich wegen ihrer Lage nicht recht zukommen konnte, wurde der Apparat durch die Assistenz gehandhabt.

Der Umstand, dass ich in vielen Fällen selbst das Instrument auflegte, selbst die Veränderungen des Thermometerstandes ablas, und natürlich auch die Zeit des Auftretens der Wärme-Empfindung und weiter des Wärmeschmerzes selbst notirte, modificirte meiner Erfahrung gemäss die Beurtheilung der Versuchsergebnisse keineswegs in wesentlicher und erheblicher Weise.

Auf Grund zahlreicher Controlversuche überzeugte ich mich von der Möglichkeit, durch gehörige Uebung den Stand des Thermometers maschinenmässig ablesen zu können, ohne dass dadurch unsere Aufmerksamkeit, welche wir der Erkennung des Charakters der Empfindungen zuwenden, in mehr als erlaubtem Maasse zersplittert oder abgeschwächt würde. Es soll aber andererseits nicht verschwiegen werden, dass bei den ersten anfänglichen Einübungen der Versuche unser Urtheil durch den Umstand, dass wir an uns selbst experimentiren, und gleichzeitig den Grad der angewendeten Temperatur, d. h. die Intensität des Reizes kennen, — thatsächlich in nicht zu vernachlässigender Weise beeinflusst wird. Zu dieser

Zeit kann der Umstand, dass wir die als Reiz benützte Wärmesteigerung nicht nur mittelst der Haut, sondern auch mittelst der Augen beobachten, in der That dazu führen, dass die aus diesem letzteren Sinneseindruck hervorgehende Empfindung die Empfindlichkeit für Wärme beeinflusst. Durch Uebung gelangt man indessen bald so weit, dass auch ein solcher Moment die Aufmerksamkeit von der Beurtheilung des Charakters der Empfindungen nicht abzulenken vermag. Erst nachdem ich auf Grund zahlreicher mit Hülfe Anderer ausgeführten Controlversuche die Ueberzeugung gewonnen hatte, dass ich in der Einübung bis hierher gelangt sei, begann ich mit den eigentlichen Versuchen, d. h. mit dem Sammeln jener Daten, welche den Stoff zu den folgenden Auseinandersetzungen abgaben.

Die Oberfläche des Körpers untersuchte ich nach anatomischen Regionen, und zwar nahm ich dabei — mit Ausnahme einiger später zu erwähnender Fälle — als Richtschnur die in der IX. Sitzung der anatomischen Gesellschaft zu Basel gefassten, auf die Benennung der topographischen Bezirke bezüglichen Beschlüsse [1]). Jede einzelne, mit Tinte auf der Haut abgegrenzte Region wurde in solche Quadrate getheilt, deren Seiten je 2 cm betrugen. Alle diese 4 qcm grossen Quadrate wurden einzeln für sich untersucht.

In Weiterem wurde das folgende Versuchsverfahren befolgt: Wenn nach gehöriger Regulirung des Wasserstrahles die durch das aus dem Heisswassererzeuger strömende Wasser erwärmte Quecksilbersäule des Thermometers auf 38—40 ° C. stieg, der Apparat also jene Temperatur angenommen hat, welche bei nicht allzu empfindlichen Regionen für gewöhnlich als Ausgangspunkt dient, wird die Spitze des Instrumentes auf die Mitte des zu untersuchenden Quadrates aufgelegt. Hierbei muss Sorge getragen werden, dass mit dem Apparat kein Druck auf die Haut ausgeübt werde, hauptsächlich aus dem Grunde, weil das Auftreten einer intensiveren Tastempfindung die Beurtheilung der Wärme-Empfindung beeinflussen würde. Jene Beobachtung von Goldscheider [2]) und Alrutz [3]), dass besonders die Kältepunkte auf gewisse mechanische Reize mit specifischen Empfindungen antworten können, kann in Folge der abgeplatteten

1) W. His, Die anatomische Nomenclatur. Leipzig, Veit & Co., 1895.

2) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 63.

3) Studien auf dem Gebiete der Temperatursinne. Skandin. Archiv f. Physiol. Bd. 8 H. 5 S. 327. 1897.

Form der Spitze des Instrumentes bei diesen Versuchen nicht in Betracht kommen.

Nach Anlegung des Instrumentes auf die Haut wird vor Allem beobachtet, bei welchem Wärmegrade eine ausgeprägte Wärme-Empfindung auftritt. Nachdem die Wärme-Empfindung — als solche — sich eingestellt hat, wird, während die Temperatur weiter steigt, und das Instrument mit der Haut stets in Berührung bleibt, die Wärmeempfindung immer intensiver. Nach längerer oder kürzerer Zeit beginnen unangenehme Nebenempfindungen, wie Stechen, Zwicken, mitunter Jucken, Brennen u. s. w., sich zu ihr zu gesellen, bis schliesslich je nach der Empfindlichkeit der untersuchten Stelle die Nebenempfindungen bei höherem oder niedrigem Wärmegrade die eigentliche Wärme-Empfindung verdrängen und eine neue Empfindung auftritt, nämlich der Schmerz, neben welchem die ursprüngliche Wärme-Empfindung gewöhnlich gar nicht mehr bemerkt wird. Die beiden Temperaturen, nämlich die, bei welcher die reine, wohl ausgeprägte Wärme-Empfindung und die andere, bei welcher der Schmerz auftrat, werden notirt.

Nachdem der Versuch auf einem Quadrate in der geschilderten Art zu Ende geführt wurde, wird ein reichlicherer Wasserstrahl durch das Thermästhesiometer geschickt, wodurch die Temperatur des Instrumentes, und also auch der Endplatte fällt; nun kann wieder mit einem neuen Versuche auf einem anderen Quadrate begonnen werden. Bei genügender Uebung können wir, nach meiner Erfahrung, in einer Stunde 45—50 Versuche anstellen. Gewöhnlich erstrebte ich jedoch nicht eine solch' rasche Aufeinanderfolge der Versuche, um die Ermüdung, resp. deren störende Wirkung, nach Möglichkeit bis zum Schlusse zu vermeiden.

Aus später zu erwähnenden Gründen müssen wir auch die Geschwindigkeit der Temperatursteigerung, mit anderen Worten auch das aufzeichnen, wie viel Secunden verstreichen, bis die Quecksilbersäule des Thermometers von dem die reine Wärme-Empfindung auslösenden Grade bis zu jenem des Schmerzes hinaufsteigt.

Wenn wir nach Verlauf von Stunden oder Tagen dasselbe Quadrat auf's Neue untersuchen, können wir zu einem Resultat gelangen, welches von dem früher gewonnenen mehr oder weniger abweicht, selbst wenn wir noch so genau darauf achten, dass die Endplatte immer auf einen und denselben Punkt zu liegen kommt, und nach Möglichkeit Abweichungen in der Geschwindigkeit der Erwärmung

des durch das Thermästhesiometer strömenden Wassers vermeiden. Aus diesem Grunde habe ich in jedem einzelnen Quadrate ein Mal, in seltenen Fällen, wenn die Abweichungen besonders gross waren, zwei Mal die Versuche wiederholt, indem ich bei jedem Versuche grosse Sorgfalt auch auf die Aufzeichnung jener Nebenerscheinungen legte, welche in Gestalt von äusseren Bedingungen zwischen den ersten und den späteren Versuchen als Unterschiede in Betracht gezogen werden könnten. Stets wurde notirt, ob sich Hyperämie einstellte, und wie Charakter und Erscheinungsart der Neben- und Nachempfindungen beschaffen gewesen. Ebenso wurden auch noch andere, eventuell sich ergebende Momente aufmerksam verfolgt, welche in der Empfindlichkeit der einzelnen Körperregionen bemerkbare Unterschiede hervorzurufen im Stande wären. Die zweite Versuchsreihe wurde stets mindestens 4—5 Stunden, eventuell 1—2 Tage nach der ersten ausgeführt.

Da die Endplatte des Thermästhesiometers, welche mit der Haut in Berührung kommt, kleiner ist als die Quadrate der Eintheilung, kann es vorkommen, dass bei dem zweiten Versuche das Instrument nicht genau auf dieselbe Stelle zu liegen kommt wie beim ersten, welcher Umstand zu einem Unterschied in der Zahl der gereizten Temperaturpunkte führen kann. Dies gibt jedoch bei der Feststellung der durchschnittlichen Empfindlichkeit der betreffenden Körperregionen keinen wesentlichen Fehler ab. Selbst wenn wir die Versuche genau auf derselben Stelle wiederholen, können die Ergebnisse der ersten und der späteren Versuche von einander abweichen, auch noch dann, wenn die Geschwindigkeit der Temperatursteigerung in jedem Falle dieselbe bleibt. Die Empfindlichkeit des Quadrates wurde auf Grund der Mittelzahl bestimmt, welche sich aus den, auf jedem einzelnen Quadrate gewonnenen zwei oder mehreren Werthen ergab.

Da es wegen Raummangels unmöglich ist, sämmtliche, bei der Durchmusterung aller auf der Körperoberfläche markirter, 4 qcm grosser Quadrate gewonnene Daten[1]) hier vorzuführen, soll eine einzige Körperregion als Beispiel dessen dienen, welche Methode ich bei Aufzeichnung der Zahlangaben verfolgte:

1) Auf der gesammten Körperoberfläche habe ich ungefähr 12000 einzelne Versuche ausgeführt.

R. lumbalis sinistra.

R. infrascapularis

R. abdom. later.

R. mediana dorsi

Crista ilei

			2	1
7	6	5	4	3
12	11	10	9	8
17	16	15	14	13
		20	19	18

Nr.	Versuch	I. Columne	II. Columne	III. Columne
1.	I.	41,9° C.	48,1° C.	10″[1]
	II.	43,3° C.	48,3° C.	7″
2.	I.	41,4° C.	48,0° C.	8″
	II.	41,9° C.	46,9° C.	7″
3.	I.	39,6° C.	45,3° C.	10″
	II.	40,9° C.	44,0° C.	3″
4.	I.	41,4° C.	47,4° C.	7″
	II.	41,8° C.	47,1° C.	7″
5.	I.	39,4° C.	42,8° C.	3,5″
	II.	40,6° C.	43,6° C.	3,5″
	III.	40,7° C.	48,1° C.	12″
6.	I.	40,9° C.	43,1° C.	5″
	II.	41,3° C.	43,7° C.	3,5″
7.	I.	39,9° C.	43,0° C.	5″
	II.	39,2° C.	43,8° C.	5″
8.	I.	40,6° C.	43,1° C.	3″
	II.	40,8° C.	45,6° C.	15″
9.	I.	38,9° C.	42,4° C.	4″
	II.	40,1° C.	42,4° C.	3″
10.	I.	40,8° C.	44,6° C.	4″
	II.	40,8° C.	43,3° C.	3″
11.	I.	39,3° C.	44,9° C.	17″
	II.	39,6° C.	42,0° C.	3″
12.	I.	39,5° C.	42,6° C.	3″
	II.	41,0° C.	42,9° C.	2″
13.	I.	41,1° C.	47,1° C.	10″
	II.	42,8° C.	46,0° C.	7″
14.	I.	39,2° C.	41,4° C.	3,5″
	II.	40,4° C.	42,4° C.	3,5″
	III.	40,7° C.	44,6° C.	5″
15.	I.	39,2° C.	41,4° C.	2,5″
	II.	40,7° C.	42,8° C.	3″
16.	I.	38,9° C.	40,4° C.	2″
	II.	39,8° C.	41,4° C.	1,5″
	III.	39,2° C.	42,4° C.	2″
17.	I.	40,0° C.	46,1° C.	8″
	II.	42,4° C.	47,5° C.	15″
	III.	42,8° C.	44,9° C.	3″
18.	I.	40,1° C.	42,6° C.	3″
	II.	39,5° C.	41,9° C.	3,5″
	III.	40,6° C.	45,5° C.	7″
19.	I.	40,2° C.	42,1° C.	2″
	II.	40,3° C.	42,4° C.	2,5″
20.	I.	39,9° C.	42,3° C.	3,5″
	II.	40,8° C.	43,0° C.	4″
	III.	40,3° C.	44,3° C.	5″

---

1) In der ersten Columne sind jene Wärmegrade aufgezeichnet, bei welchen reine Wärme-Empfindung auftrat; die zweite Columne enthält jene Wärmegrade, welche Schmerzempfindungen auslösten, und zwar in solcher Intensität, dass sich Schutzreflexe einstellten, und dass der Schmerz weiterhin unerträglich erschien. Die dritte Columne enthält Angaben über die Zeit, welche zwischen das Erscheinen der einfachen Wärme-Empfindung und das Auftreten der Schmerzempfindung fiel. Die auf demselben Quadrate wiederholten Versuche sind in zeitlicher Aufeinanderfolge, durch römische Ziffern bezeichnet.

Die Reihenfolge der Versuche in den einzelnen Quadraten der Region war die folgende: 1 — 4 — 6 — 13 — 15 — 17 — 2 — 3 — 5 — 7 — 8 — 10 — 12 — 19 — 9 — 11 — 14 — 16 — 18 — 20.

Die Region zeigte sich, hauptsächlich der raschen Temperatursteigerung gegenüber, empfindlich. Die Empfindungen waren im Allgemeinen sehr scharf, verliefen aber auch sehr rasch. Die Nachempfindungen verschwanden recht bald.

I. Reihe am 2. Juni 1900 Vormittag.
II. „ „ 2. „ 1900 Nachmittag.
III. „ „ 3. „ 1900 Vormittag.

Das Verfahren war bei anderen Körperregionen den hier beispielshalber geschilderten vollkommen ähnlich.

III. Besprechung der Versuchsfehler.

Um bei der Verwerthung der mit Hülfe des beschriebenen Versuchsverfahrens gewonnenen Daten ein klareres Bild zu bekommen, und besonders um in jedem gegebenen Falle jene Nebenwirkungen leicht zu erkennen, welche die Empfindlichkeit beeinflussen können, musste ich vor Allem jene Umstände prüfen, welche als Fehlerquellen dienen können. Ich musste also bestrebt sein, zu erkennen, welche Zustandsänderungen der Nervenapparate und deren Umgebung es sind, welche Fehlerquellen abgeben könnten und wie ferner jene die Anwendung der Wärmereize begleitenden Nebenwirkungen beschaffen sind, welche auf Grund andersartiger Beeinflussung der Thätigkeit der Nervenapparate, die Wärme-Empfindlichkeit modificiren können.

Nach Prüfung der diesbezüglichen Angaben der einschlägigen Literatur, und nachdem ich einige orientirende Versuche angestellt hatte, kam ich zu der Ueberzeugung, dass von diesem Standpunkte aus hauptsächlich die Adaptation, der verschiedene Feuchtigkeitsgrad der Haut, die Nachempfindungen, die Hyperämie, die Aenderungen des Nullpunktes, die Mitempfindungen und der Charakter der Empfindungen berücksichtigt werden müssen.

Diese sollen nun hier besprochen werden. Es soll aber zugleich bemerkt werden, dass die Ermüdung, als Fehlerquelle, darum nicht in Betracht gezogen ist, weil ich die Versuche stets so einrichtete, dass zwischen den einzelnen Versuchen genügende Zeit zum Erholen ver-

bleibe. Wenn ich in irgend welcher Beziehung eine Ermüdung wahrnahm, brach ich die Versuche ab, d. h. ich schob die Wiederholung derselben für eine spätere Zeit auf.

1. Die Bedeutung der Adaptation.

Eine allgemeine Orientirung in der Topographie der Wärme-Empfindlichkeit wird ermöglicht, wenn man für die absolute Wärme-Empfindlichkeit gleichsam als Wertheinheit einen Wärmegrad von allgemeiner Gültigkeit annimmt, z. B. einen solchen, welcher an der empfindlichsten Stelle Schmerz verursacht. Wenn dann geprüft wird, in welchem Verhältnisse die Empfindlichkeit der untersuchten Stelle zu diesem Wärmegrade steht, ob derselbe dort eine intensivere oder weniger intensive Wärme-Empfindung auslöst als an einer anderen Stelle, so lassen sich auf Grund dieser Beobachtungen für die Empfindlichkeit einige Stufen festsetzen. Aus diesen lässt sich jedoch ein ausführliches topographisches Bild noch keineswegs in leicht übersichtlicher und zugleich genau charakterisirender Weise zusammenstellen.

Dagegen gelangt man zu einer entsprechenderen Bezeichnung und Charakterisirung der Empfindlichkeit, wenn auf jedem einzelnen untersuchten Gebiete der zur Auslösung der Wärme-Empfindung resp. des Wärmeschmerzes nothwendige Wärmegrad zahlengemäss bestimmt wird. Zu diesem Zwecke können wir mit constanter oder mit veränderlicher Wärme experimentiren.

Das Benützen constanter Wärme zur Bestimmung der Empfindlichkeit kann leicht zu Irrthümern führen. Bei einiger Reizdauer erhalten wir, besonders bezüglich der Wärme-Schmerzempfindlichkeit, im Allgemeinen niedrigere Schwellenwerthe bei Anwendung constanter Wärme als mit steigender.

Wenn der Reiz z. B. die der Empfindlichkeit der untersuchten Stelle entsprechende Intensität überhaupt nicht erreicht, so tritt kein Schmerz ein, wie lange auch die Einwirkung dauern möge, ja die Empfindung verliert sogar allmählich an Schärfe. Wenn dagegen die verwendete constante Wärme einem höheren Wärmegrade entspricht, als es die Höhe der Reizschwelle erfordern möchte, so kann auch der nun sich einstellende sehr intensive Schmerz nicht das richtige Maass für die Empfindlichkeit sein.

Es erfordert ein sehr langwieriges Versuchsverfahren, in jedem einzelnen Falle den entsprechenden Wärmegrad zu finden, wesshalb

auch diese Methode eher zur Bestimmung solcher Empfindlichkeitsstufen geeignet ist, welche durch Worte ausgedrückt werden können und sich auf weitere Grenzen beziehen.

Wenn man die im Allgemeinen auf unseren Körper einwirkenden äusseren Einflüsse in Betracht zieht, könnte man zwar die Reizung mit constanter Wärme als die natürlichere Prüfungsart der Thätigkeit der empfindenden Oberfläche betrachten als die mittelst steigender Wärme, bei welch' letzterer wir die Versuchsdaten bei den durch die steigende Temperatur bezüglich ihrer Reizbarkeit modificirten Nervenapparaten zu suchen gezwungen sind. Und dennoch erscheint letztere Methode, auf Grund der oben schon erwähnten, für die Bestimmung der Topographie geeigneter. Thatsächlich stellt die Modification der Reizbarkeit der Nervenapparate, die Adaptation, d. h. die Anpassung des Nervenapparates an die Einwirkung der steigenden, also sich ändernden Temperatur, einen von dieser Methode abhängigen Versuchsfehler dar, welcher in jedem Falle genügend zu würdigen und abzuschätzen ist. Die Rolle und die Bedeutung der Adaptation tritt hauptsächlich dann in den Vordergrund, wenn das Ansteigen der Temperatur ein sehr langsames ist.

Ohne Zweifel gelingt bei dem von mir verfolgten Versuchsverfahren die Regulirung der Geschwindigkeit der Temperatursteigerung nicht immer in der Weise, dass bei den verschiedenen Versuchen in der Geschwindigkeit des Anwachsens der Wärme keine Abweichungen vorkommen könnten. Schon das etwas zu starke Oeffnen des Wasserleitungshahnes verursacht einen Unterschied in der Geschwindigkeit der Temperatursteigerung, deren Optimum für die verschieden empfindlichen Körperregionen nicht das gleiche ist. In Regionen, welche sehr empfindlich und mit dünner Haut bedeckt sind, ist die allzu rasche, nur 1—2 Secunden in Anspruch nehmende Steigerung der Temperatur für die Versuche nicht so geeignet als das etwas langsamere Anwachsenlassen. Im ersteren Falle tritt die Empfindung plötzlich, gewissermaassen überraschend auf, ohne dass die reine Wärme-Empfindung mit einer wünschenswerth langsameren Ausbildung dem Schmerz Platz machen konnte.

An solchen Stellen ist eine Steigerungsgeschwindigkeit von 5—6 Sec. am entsprechendsten, welche sich überhaupt als die geeignetste erwiesen hat, — ausgenommen die mit sehr dicker Hornschicht bedeckten Stellen, wie z. B. die callöse Haut der Sohle, wo die Schmerzempfindung von der Wärme-Empfindung durch einen

Abstand von 8—10° C. getrennt ist. Das Durchlaufen dieser Breite innerhalb von 5 Sec. wäre eine zu rasche Steigerung der zur Reizung benützten Wärme. Bei einer raschen Steigerung der Temperatur zeigt das Thermometer in solchen Fällen einen bedeutend höheren Stand an, als es der vom Nervenapparat innerhalb derselben Zeit thatsächlich aufgenommenen Temperatur entspricht.

An solchen Stellen stossen wir übrigens auch bei Reizung mit constanter Wärme auf Adaptation. Die Wärme kann wegen des grossen Leitungswiderstandes und wegen der Schichtung der Hornsubstanz nur in kleineren Mengen, gleichsam nach und nach, zu dem Nervenapparat gelangen. Jedenfalls in viel geringeren Stössen, als dass sie das molekulare Gleichgewicht desselben mit der nöthigen Plötzlichkeit verändern könnte. Derselbe hat vielmehr reichlich Zeit, sich an die wegen des grossen Leitungswiderstandes nur langsam steigende Wärme anzupassen. Aus diesem Grunde tritt z. B. auch bei Einwirkung von einer Temperatur von 52° C. eventuell noch kein Schmerz auf, obwohl die Innervation an der fraglichen Stelle nicht ärmer ist als sonst wo. Dieser Fehler, in Folge dessen wir bei Gebieten mit dicker Hornschichte höhere Werthe bekommen, tritt bei Anwendung von steigender Wärme in noch bedeutenderem Maasse hervor. Keineswegs darf übrigens ausser Acht gelassen werden, dass ein mit Hülfe steigender Wärme gewonnener Werth, z. B. 48,3° C., noch nicht jenen Wärmegrad darstellt, der bei welch' immer Versuchsmethode zur Auslösung einer Schmerzempfindung an der betreffenden Stelle allein geeignet ist. Besonders wenn wir ein mit dünner Epidermis und feiner Wärme-Empfindlichkeit ausgestattetes Hautgebiet mit constanter Wärme berühren, tritt stets der Schmerz unbedingt schon bei niedrigerem Wärmegrade auf. Während wir z. B. an der Brust, mit steigender Wärme experimentirend, und das Thermästhesiometer, von seiner Erwärmung auf 40° C. angefangen, während der weiteren Steigerung der Temperatur fortwährend auf der Haut haltend, — bei 48,3° C. eine wohl ausgeprägte, aber noch erträgliche Schmerzempfindung erhalten, — wird dagegen sofort ein sehr heftiger Schmerz ausgelöst, wenn wir daselbst die Haut mit einer gleich zu Beginn auf jene Höhe gebrachten Temperatur des Thermästhesiometers reizen. Der Schmerz ist in letzterem Falle so heftig, dass man keine Lust verspüren kann, sich demselben ein zweites Mal auszusetzen.

Dies können wir auch dann beobachten, wenn wir das Instrument

während des langsamen Ansteigens der Temperatur auf der Haut halten und dasselbe dann vor dem Eintreten des Schmerzes auf ein benachbartes Gebiet hinübergleiten lassen. In diesem Falle tritt plötzlich ein sehr intensiver Schmerz auf, obwohl an dieser Stelle die Empfindlichkeit nicht grösser ist als an der früheren. Dieser Umstand spricht deutlich für die Bedeutung der Adaptation.

Ebenfalls für die nicht zu vernachlässigende Bedeutung der Adaptation spricht jene Erscheinung, welche man bei einem sehr langsamen Ansteigen der Temperatur beobachten kann. In diesem Falle besteht während des Versuches sehr lange Zeit, ungefähr 15—20 Sec. hindurch eine dem Schmerze sehr nahe stehende Empfindung. Der Nervenapparat jedoch kann wegen der langsamen Steigung der Intensität des Reizes die zu ihm gelangenden neuen Wärmemengen nur langsam aufnehmen. In Folge dessen werden die sich gegenseitig ablösenden Temperaturen des Nervenapparates zu Nullpunkten. Die Intensität der Empfindung steigt nur unwesentlich an, denn die vom Nervenapparat z. B. in der 15. Sec. aufgenommene Wärmemenge beeinträchtigt die Empfindlichkeit derselben für den im Verlaufe der 16. Sec. zu ihm gelangenden, nur um Weniges intensiveren Wärmereiz. Erst später, wenn die Intensität des Reizes um Vieles stärker geworden, tritt der Schmerz auf, dessen Intensität nun aber beinahe unerträglich wird.

In anderen Fällen, wenn wir innerhalb desselben Versuches die vorhergehende, sehr langsame Steigerung der Temperatur mit einem Male aufheben, letztere aber auf der schon erreichten Höhe längere Zeit hindurch behalten, so gewinnen wir den Eindruck, als wenn die Wärme abnehmen möchte.

Die Geschwindigkeit der Steigerung der Temperatur ist bei den meisten Körpertheilen von grossem Einfluss auf die in Wärmegraden ausdrückbaren, zahlengemässen Werthe der Wärme-Empfindlichkeit. Zwischen den Werthen von zwei in demselben Quadrate ausgeführten Versuchsreihen zeigt sich ein auf den modificirenden Einfluss der Geschwindigkeit der Temperatursteigerung zurückzuführender Unterschied. Wenn z. B. bei der einen Versuchsreihe die Geschwindigkeit der Temperatursteigerung 2 Sec., bei der anderen 4 Sec. oder bei der ersten 5 und bei der anderen 10,15 Sec., noch eher, wenn dieselbe 20 Sec. u. s. w. betrug[1]). Bei mindestens auf die Hälfte ver-

1) Dies kann man leicht aus den auf die Empfindlichkeit der R. lumbalis sinistra bezüglichen, auf S. 10 beispielshalber angeführten Daten ablesen,

ringerter Geschwindigkeit der Temperatursteigerung zeigt die Reizschwelle der Schmerzempfindung schon ein ausdrückliches, wenn auch nicht immer absolutes, so doch zum Mindesten relatives Ansteigen.

Diese Wirkung des langsamen Anwachsens der Temperatur kann in einfachster Art in solchen Fällen geprüft werden, wo die die Wärme-Empfindung bezeichnenden Wärmegrade der I. und II. Versuchsreihe übereinstimmen oder nur unbedeutend von einander abweichen. So trat z. B. in der Regio scapularis dextra unmittelbar über der Mitte des Spina die Wärme-Empfindung in beiden Versuchsreihen nach Einwirkung einer Temperatur von 44,5° C. auf. Der Schmerz dagegen stellte sich an derselben Stelle bei 48,3° C. (I. Reihe) resp. 46,1° C. (II. Reihe) ein, und zwar bei einer Geschwindigkeit der Temperatursteigerung von 7 Sec. resp. 2 Sec. Auf einem anderen Quadrate derselben Region, unmittelbar unterhalb der Spina, neben der Wirbelsäule gelegen, trat in der I. Reihe die Wärme-Empfindung bei 44,3° C., in der II. Reihe bei 44,0° C. auf; der Wärmeschmerz stellte sich dagegen in der I. Versuchsreihe bei 47,4° C., in der II. bei 46,3° C. ein, und zwar bei einer Geschwindigkeit der Temperatursteigerung von 8 Sec. resp. 2,5 Sec.

Auf der Sohle, besonders an den callösen Stellen, wo die Werthe der beiden Versuchsreihen sehr launenhafte und unregelmässige Schwankungen aufweisen, fand ich ebensowenig als auch an einigen Stellen des Unterschenkels, dass bei langsamem Ansteigen der Wärme der Schwellenwerth des Wärmeschmerzes ebenfalls ein Steigen von absolutem Werthe gezeigt hätte.

Das Auftreten der einfachen Wärme-Empfindung wird von der Geschwindigkeit der Steigerung der Temperatur in keiner bestimmten Weise beeinflusst. Die Reizschwelle der einfachen Wärme-Empfindung kommt bei langsamerer Steigerung der Temperatur bald höher, bald niedriger zu stehen.

Die Reizschwelle wird — wie schon erwähnt — durch ein langsames Ansteigen der Temperatur nicht stets absolut erhöht. Eine viel beständigere, und man kann sagen vollkommen regelmässige Folge der langsamen Temperatursteigerung ist die Erscheinung, dass der Abstand[1]) zwischen den die Wärme-Empfindung und andererseits

besonders, wenn man die auf das 8., 11. und 17. Quadrat bezüglichen Zahlen mit einander vergleicht.

1) In der Folge soll dieser Abstand der bezügl. Wärmegrade, der Einfachheit halber, kurz mit Δ. bezeichnet werden.

den Wärmeschmerz bezeichnenden Wärmegraden grösser wird, wie das auch aus folgenden Beispielen hervorgeht:

Regio scapularis dextra.

I. Reihe	*W.-E.* bei 44,5° C.,	*Schm.* bei 47,4° C.,	*St.-G.* 2,5 Sec.[1])
II. „	„ „ 41,3° „	„ „ 45,0° „	„ 4 „

In dieser Region betrug also bei einer *St.-G.* von 2,5 Sec. *A.* in der ersten Reihe 2,9° C.; in der zweiten Reihe dagegen bei einer ungefähr halb so grossen *St.-G.* trat der *Schm.* schon bei bedeutend niedrigerem Wärmegrade auf. Da jedoch in diesem Falle auch die *W.-E.* einen niedrigeren Reizschwellenwerth zeigte als in der ersten Reihe, betrug *A.* 3,7° C., wurde also grösser. Im Wesentlichen ähnliche Verhältnisse fand ich auch in der

R. infrascapularis sinistra.

21. Quadrat.	I. Reihe	*W.-E.* bei 45,5° C.,	*Schm.* bei 47,5° C.,	*St.-G.* 3,5″,	*A.* 2,0° C.
	II. „	„ „ 41° C.,	„ „ 46,2° C.,	„ 7″,	„ 5,2° C.
36. „	I. „	„ „ 42,5° C.,	„ „ 46,7° C.,	„ 8″,	„ 4,2° C.
	II. „	„ „ 46° C.,	„ „ 48,1° C.,	„ 2″,	„ 2,1° C.

Von solchen Fällen, wo bei langsamem Ansteigen der Temperatur nicht nur *A.* grösser, sondern auch der Schwellenwerth des *Schm.* absolut höher wurde, mögen die folgenden beispielshalber angeführt werden:

R. infrascapularis sinistra.

37. Quadrat.	I. Reihe	*W.-E.* bei 40,9° C.,	*Schm.* bei 42,1° C.,	*St.-G.* 2″,	*A.* 1,2° C.
	II. „	„ „ 41,6° C.,	„ „ 44,2° C.,	„ 5″,	„ 2,6° C.
	III. „	„ „ 40,7° C.,	„ „ 47,5° C.,	„ 30″,	„ 6,8° C.
39. „	I. „	„ „ 39,7° C.,	„ „ 42,2° C.,	„ 5″,	„ 2,5° C.
	II. „	„ „ 41,2° C.,	„ „ 44,7° C.,	„ 60″,	„ 3,5° C.

R. scapularis dextra.

93. Quadrat.	I. Reihe	*W.-E.* bei 42,2° C.,	*Schm.* bei 46,0° C.,	*St.-G.* 4″,	*A.* 3,8° C.
	II. „	„ „ 42,4° C.,	„ „ 47,6° C.,	„ 15″,	„ 5,2° C.

Das molekulare Gleichgewicht des Nervenapparates wird durch eine langsame Steigerung des Wärmereizes beinahe in derselben Weise gestört wie durch in rascher Aufeinanderfolge wiederholte Reizungen.

1) *W.-E.* = einfache Wärme-Empfindung, *Schm.* = Wärmeschmerz, *St.-G.* = Geschwindigkeit der Temperatursteigerung.

Eine bereits einmal gereizte Stelle verliert für Reize derselben Gattung von ihrer Empfindlichkeit. Wenn wir auf einem Quadrate sehr oft hinter einander Versuche anstellen, genau achtend, dass die Endplatte des Thermästhesiometers immer auf eine und dieselbe Stelle zu liegen komme, so können wir beobachten, dass die Reizschwelle sowohl der *W.-E.* als auch des *Schm.* im Allgemeinen steigt. Wenn der Schwellenwerth bei einzelnen Versuchen vielleicht auch etwas wieder zurückgeht, so ist doch die Geneigtheit zu einer durchschnittlichen Steigung gut zu erkennen. Dies tritt besonders deutlich hervor, wenn die Daten zu einem Diagramm zusammengefasst werden.

Das hierauf bezügliche Diagramm Nr. 1 (auf Taf. I) stellt das Ergebniss von 65 Versuchen dar, welche auf einer 10 cm oralwärts vom Nabel gelegenen Stelle, in nach Möglichkeit kurzen und gleichen Zeitabschnitten einander folgend, innerhalb von 50 Minuten ausgeführt wurden. Die unterbrochene Linie zeigt jene Wärmegrade an, welche zur Auslösung der einfachen *W.-E.* nothwendig waren. Die Aufeinanderfolge der Reizschwellenwerthe des *Schm.* ist dagegen in Gestalt einer ununterbrochenen Linie gezeichnet. Die Zahlen über der Curve entsprechen der zeitlichen Aufeinanderfolge der einzelnen Versuche.

Es geht aus der Betrachtung der Curve hervor, dass bei diesem Versuche die Reizschwelle des *Schm.* von 46,7° C. plötzlich auf 45,1° C. sank, aber sofort wieder auf 46,1° C. resp. 47,9° C. stieg; weiterhin zeigt sie wieder kürzere oder längere Zeit dauernde Remissionen, aber schon beim 23. Versuche gelangt sie auf 50° C. zu stehen, und von hier an bewegt sie sich mit kleineren und grösseren Remissionen bis zum Schlusse zwischen 49 und 50° C., ja mitunter geht sie bis über 51° C. hinaus.

Die Schwankungen der Reizschwelle der einfachen *W.-E.* folgten in diesem Falle ziemlich genau den Schwankungen der Reizschwelle des *Schm.*, weshalb auch *A.* bis zum Schlusse ziemlich der gleiche blieb [1]).

Der erste Theil des Diagrammes Nr. 2 (gleichfalls auf Taf. I) enthält jene Daten, welche sich aus 52 gleichfalls rasch hinter einander auf der R. carpi dorsalis dextra ausgeführten Versuchen ergaben.

---

1) Die Bedeutung dieser Erscheinung soll noch in einem späteren, den Einfluss der Nachempfindungen behandelnden Capitel besprochen werden.

Diese Curve ist im Allgemeinen flacher als die erste, die allmählich fortschreitende Steigung ist an ihr weniger ausgeprägt. Um so auffälliger ist dagegen die Erscheinung, dass der Reizschwellenwerth des *Schm.* gleich zu Anfang der Versuchsreihe emporging, und mit geringen Remissionen bis zum Schlusse auf diesem hohen Werthe verblieb. Gleich der allererste Versuch hatte eine Nachempfindung zur Folge und erhob den Nullpunkt. In Folge dessen war der Reiz von annähernd derselben Intensität, welche bei dem ersten Versuche zum *Schm.* führte, — bei dem zweiten Versuche nur zur Auslösung einer einfachen *W.-E.* hinreichend. Die Schwankungen der Reizschwellenwerthe der einfachen *W.-E.* folgten auch in diesem Falle ziemlich genau den Aenderungen, welche die Reizschwellenwerthe des *Schm.* zeigten. *A.* blieb also auch in diesem Falle bis zum Schlusse ziemlich derselbe [1]).

Bei derartigen Versuchen nimmt die Haut sehr grosse Wärmemengen auf, sie wird hyperämisch, und es entstehen neue, im Verhältniss zu dem dem Versuch vorangegangenen Zustande höhere Nullpunkte. Das diesen neuen Nullpunkten entsprechende Gleichgewicht des Nervenapparates kann in Folge dessen nur durch einen stets intensiver werdenden, mit dem steigenden Nullpunkte gewissermaassen Schritt haltenden Reiz gestört werden.

Eine gewissermaassen in die nämliche Kategorie gehörige Veränderung erleidet der Nervenapparat, wenn die Reiztemperatur ein sehr langsames, 15—20—30 Sec. andauerndes Anwachsen zeigt, wodurch dann die sehr langsam zum Nervenapparat gelangende Temperaturveränderung zur Anpassung Zeit lässt und die Empfindlichkeit für die nachher dahin gelangende Wärme herabsetzt. Diese Beobachtung deckt sich mit der Goldscheider's [2]), welcher bei Untersuchung des Einflusses der zwei wichtigen, auf das Auftreten der Schmerzempfindung einwirkenden Factoren, nämlich der Reizstärke und der Einwirkungsdauer, die Erfahrung machte, dass eine Wärme von 50—52 ° C. auf gewissen Hautstellen schon nach 2 Sec. Schmerz verursacht, während eine solche von 45 ° C. an derselben Stelle, selbst nach längerer Einwirkung, nicht für schmerzhaft empfunden wird. Im ersten Falle erwärmt sich der Nervenapparat nach

1) Der zweite, kleinere Theil des zweiten Diagrammes soll ebenfalls an der Hand der Besprechung der Nachempfindungen erklärt werden.

2) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 352.

G[illegible] gewiss nicht auf 4[illegible] ° C., aber die Temperatur-veränderung [illegible]. Im letzteren Falle erhebt sich zwar die Temperatur der empfindenden Hautschicht schliesslich auf 45 ° C., aber eine so allmähliche Steigerung der Reizstärke ist nicht im Stande, den Nervenapparat in dem zur Auslösung des Schmerzes nothwendigen Maasse zu reizen.

Auf Grund dieser Beobachtungen erscheint die Folgerung Dessoir's[1], dass nämlich nach längerer Dauer der Reizung selbst schwächere Reize Schmerz auszulösen im Stande wären, nicht annehmbar.

Die Bedeutung der Adaptation kann kurz in Folgendem zusammengefasst werden:

Zur Adaptation bietet das langsame Anwachsen der Wärmereizintensität Gelegenheit.

In Folge der Wirkung der Adaptation wird in einer solchen Versuchsreihe, wo die Temperatur langsam gesteigert wurde, der Reizschwellenwerth höher sein als in einer zweiten, wo die *St.-G.* das Doppelte der ersteren oder noch mehr betrug.

Die Adaptation kann auch eine absolute Erhöhung des Reizschwellenwerthes des Wärmeschmerzes verursachen; es entspricht jedoch eher der Regel ein Anwachsen von *A.*, also ein relatives Ansteigen des Reizschwellenwerthes.

Die bei dem von mir befolgten Versuchsverfahren in Betracht kommende Wirkung der Adaptation zeigt eine gewisse Aehnlichkeit mit der Wirkung in rascher Aufeinanderfolge an derselben Stelle ausgeführter Reizungen, und beruht darauf, dass die allmählich zum Nervenapparat anlangenden Wärmemengen nicht als besondere Reize wirken, sondern das Entstehen neuer Nullpunkte zur Folge haben.

Man kann die Bedeutung der Adaptation in jedem Falle in entsprechender Weise würdigen, wenn die *St.-G.* zahlengemäss — in Secunden — ausgedrückt wird.

Zwischen den Schwellenwerthen der einfachen *W.-E.* und des *Schm.* besteht noch eine weitere erwähnenswerthe Beziehung, welche mit der Adaptation nicht mehr zusammenhängt. Diese Beziehung können wir am leichtesten wahrnehmen, wenn wir auf demselben

---

1) Ueber den Hautsinn. Arch. f. (Anat.) u. Physiol. 1892 S. 175.

Quadrate unter Verwendung von mit gleicher Geschwindigkeit anwachsender Wärme zwei Versuchsreihen ausführen. Wenn der Reizschwellenwerth der *W.-E.* in der einen Reihe höher ist als in der anderen, so wird auch die Reizschwelle des *Schm.* in ersterer höher sein; *A.* zeigt also dann in beiden Reihen keinen wesentlichen Unterschied.

So habe ich z. B. in der R. infrascapularis sinistra an einer von der oralen Grenze der Region 7 cm, von der seitlichen Grenze 5 cm entfernten Stelle in der I. Versuchsreihe gefunden, dass bei einer *St.-G.* von 5 Sec. *W.-E.* bei 42 ° C., *Schm.* bei 45,7 ° C. auftrat, *A.* also 3,7 ° C. betrug. An derselben Stelle traten bei derselben *St.-G.* in der II. Versuchsreihe, *W.-E.* bei 42,8 ° C., *Schm.* bei 46,4 ° C. auf; in diesem Falle betrug also *A.* 3,6 ° C.

In der R. mediana dorsi bekam ich an einer von der oralen Grenze 17 cm, von der Mittellinie 2 cm nach rechts entfernten Stelle bei einer *St.-G.* von 5 Sec. in der I. Versuchsreihe bei 42 ° C, *W.-E.*, bei 47 ° C. *Schm.*; *A.* betrug also 5 ° C. An derselben Stelle traten bei gleicher *St.-G.*, in der II. Versuchsreihe *W.-E.* bei 41 ° C., *Schm.* bei 46,5 ° C. auf; *A* betrug also 5,5 ° C.

In der R. hypochondriaca sinistra stellten sich an einer von der caudalen Grenze 4 cm, von der an die Wirbelsäule stossenden Grenze der Region 6 cm entfernten Stelle bei einer *St.-G.* von 4 Sec. in der I. Versuchsreihe *W.-E.* bei 42 ° C., *Schm.* bei 44,5 ° C. ein; es betrug also *A.* 2,5 ° C. An derselben Stelle erhielt ich bei gleicher *St.-G.* in der II. Versuchsreihe bei 42,9 ° C. *W.-E.*, bei 45,6 ° C. *Schm.*; es betrug also *A.* in diesem Falle 2,7 ° C.

Im Verlaufe meiner Versuche fand ich noch zahlreiche ähnliche Beispiele, in welchen die an und für sich grösseren oder kleineren Werthe von *A.* in der I. und II. Versuchsreihe im Wesentlichen unverändert blieben.

Das Steigen der Reizschwelle der *W.-E.* reisst also gleichsam auch die Reizschwelle des *Schm.* mit sich, wodurch bewiesen wird, dass die Reizschwelle in den einzelnen Regionen von gewissen Umständen abhängig, stets auf eine bestimmte Höhe eingestellt ist. Dass wir auch bei gleicher *St.-G.* Unterschiede zwischen den Daten zu sehen bekommen, welche sich aus den früheren und den späteren, auf demselben Quadrate ausgeführten Versuchsreihen ergeben, findet seine Erklärung in mehreren Umständen. Als solche können z. B. der während der beiden Versuchsreihen eventuell nicht gleich

bleibende Feuchtigkeitsgrad der Haut, ihr verschiedener Nullpunkt, die abweichende Temperatur der Umgebung und andere, die Empfindlichkeit modificirenden Momente, betrachtet werden. Diese können jedoch die zwischen *W.-E.* und *Schm.* bestehende und durch *A.* ausgedrückte Beziehung nicht verändern.

Bevor ich auf die Besprechung eines weiteren Versuchsfehlers, nämlich der Bedeutung des Feuchtigkeitsgrades der Haut, übergehe, sollen noch einige allgemeine Bemerkungen hier angeführt werden.

Zwischen den Ergebnissen der ersten und der weiteren Versuchsreihen kann man am ehesten eine Uebereinstimmung erwarten, wenn neben der Uebereinstimmung der *W.-E.*-Werthe die *St.-G.* auch die gleiche bleiben kann. Jedoch können wir, auch bei sorgfältigem Einhalten dieser Bedingung, auffälligen Abweichungen begegnen. Die Abweichung in den *Schm.*-Werthen wird besonders dann beträchtlich, wenn neben der verschiedenen *St.-G.* auch die Schwellwerthe der *W.-E.* einander nicht gleich sind, und zwar zeigt sich dies in der weitaus grösseren Zahl der Fälle.

Die in den ersten und in den späteren Versuchsreihen gewonnenen *W.-E.*-Werthe stimmen seltener mit einander überein als die *Schm.*-Werthe. Oft ist es schwer zu entscheiden, wann wir eine reine Wärme-Empfindung, ohne Nebenempfindungen, vor uns haben. Das Auftreten der einfachen *W.-E.* breitet sich auf weite Temperaturgrenzen aus. Mitunter empfinden wir, während die Temperatur um einige Grad Celsius, z. B. von 43 ° C. auf 45—46 ° C. steigt, fortwährend Wärme, und können nur schwer entscheiden, wann die reine *W.-E.* aufgetreten ist. Andererseits machen uns oft nur Nebenempfindungen auf den Wärmereiz aufmerksam, wie dies besonders an den lateralen Flächen der Extremitäten und in den medialen Gebieten des Rumpfes beobachtet werden kann. Manchmal werden wir erst des Wärmereizes gewahr, wenn schon eine stechende Nebenempfindung auftritt, so dass es in diesem Falle richtiger wäre, von der Reizschwelle von gemischten resp. Mitempfindungen, als von *W.-E.*-Schwellenwerthen zu sprechen. Der Schmerz pflegt viel ausgeprägter aufzutreten. Die Beurtheilung der Empfindung, welche nun schon einen stechenden, brennenden u. s. w. Charakter hat, wird durch das Dazwischentreten von Reflexen bedeutend erleichtert. Die Werthe schwanken hier nicht zwischen so weiten Grenzen als bei

der einfachen *W.-E.* Aus diesem Grunde wählte ich bei der Zusammenstellung der topographischen Mittheilungen den *Schm.* als Grundlage.

In Hauptgebieten mit feinerer Wärme-Empfindlichkeit, mag auch diese Feinheit auf die absolute Empfindlichkeit (R. mammalis) oder auf die Unterschiedsempfindlichkeit (RR. volares digitorum) Bezug haben, pflegen zwischen den Werthen der ersten und der späteren Versuchsreihen die Abweichungen geringer zu sein als anderwärts, wo die Empfindlichkeit aus irgend einem Grunde stumpfer ist. Goldscheider[1]) hat bezüglich der Uebereinstimmung der Werthe bei der Prüfung der Reactionszeit ähnliche Verhältnisse gefunden. Er suchte die Erklärung der Erscheinung in dem Umstande, dass auf Gebieten mit feinerer absoluter Empfindlichkeit die Vertheilung der Temperaturpunkte in der Flächeneinheit eine gleichmässigere ist. Da die Intensität der Empfindung ausser vom Grade des Reizes in erster Linie von der Zahl der gereizten Temperaturpunkte abhängig ist, so ist es klar, dass innerhalb der Grenzen eines Quadrates stets eine gleiche Anzahl von Nervenapparaten gereizt wird, wenn man bei gleicher Vertheilung der Temperaturpunkte die Haut mit einer Abweichung von 1—2 mm wo immer reizt. An solchen Stellen fällt eine Ursache der Abweichung der Werthe weg, nämlich die, dass das Instrument bei den späteren Versuchen nicht auf genau dieselbe Stelle zu liegen kommt als bei dem ersten.

2. Der verschiedene Feuchtigkeitsgrad der Haut als Fehlerquelle.

Ein Grund für die Abweichung der aus den einzelnen Versuchsreihen sich ergebenden Werthe ist unter Anderem auch der auf Unterschiede der Schweisssecretion zurückzuführende verschiedene Feuchtigkeitsgrad der Hornschicht. Der Leitungswiderstand der feuchten Hornschicht ist geringer als der der trockenen; in Folge dessen erhalten wir auf mit Schweiss bedeckten, aber dabei subjectiv noch nicht als abgekühlt empfundenen Hautstellen niedrigere Werthe.

Um über die Grösse der Abweichungen zwischen den auf verhältnissmässig trockener und andererseits auf feuchter Haut gewonnenen Werthen eine Orientirung zu erhalten, habe ich auf verschiedenen Hautregionen Versuche angestellt, theilweise ohne die

1) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 337.

Haut zu befeuchten, theilweise indem ich dieselbe mit lauwarmem Wasser befeuchtete. So erhielt ich z. B. im Epigastrium in der Mitte, ohne Befeuchtung der Haut, bei einer *St.-G.* von 3 Sec. die Reizschwelle der *W.-E.* bei 47,5° C., die des *Schm.* bei 50,3° C. An derselben Stelle befeuchtete ich bei einer anderen Gelegenheit die Haut und fand, dass die Schwellenwerthe auf 41,5° C., resp. auf 47,9° C. fielen, obwohl die *St.-G.* 8 Sec. betrug. Aehnliche Beispiele sind folgende:

Auf dem rechten Oberarme, im Sulcus lateralis.

Ohne Befeuchtung	*W.-E.* bei 47,1° C.,	*Schm.* bei 51,1° C.,	*St.-G.* 7″
Mit „	„ „ 43,9° C.,	„ „ 49,4° C.,	„ 11″
„ „	„ „ 47,4° C.,	„ „ 49,9° C..	„ 10″

Auf dem rechten Handrücken, zwischen den II.—III. Mittelhandknochen.

Ohne Befeuchtung	*W.-E.* bei 47,0° C.,	*Schm.* bei 50,1° C.,	*St.-G.* 4″
Mit „	„ „ 46,7° C.,	„ „ 48,7° C.,	„ 20″ u. s. w.

Bei diesen Versuchen geschah die Befeuchtung der Haut keineswegs so eingehend und die ganze Dicke der Hornschicht durchdringend, wie dies bei der Imbibition mit Schweiss geschieht, wo die Hornschicht vollständig aufweicht. Indessen bewirkt schon eine so schwache und oberflächliche Befeuchtung ein Fallen der Reizschwelle, besonders bezüglich des *Schm.* Aus diesem Grunde habe ich bei meinen Versuchen stets streng dafür gesorgt, dass die Haut nicht feuchter als unter normalen Verhältnissen sei.

3. Die Wirkung der Nachempfindungen.

Die Empfindlichkeit für Wärme wird auch durch die Nachempfindungen modificirt. Diese treten mit verschiedener Intensität und Dauer auf, je nach dem Grade des Reizes, und grösstentheils auch je nach der Empfindlichkeit der betreffenden Körperregion. Es gibt Körperregionen, wo die Nachempfindungen von sehr kurzer Dauer und geringer Intensität sind, wie dies im Allgemeinen an den lateralen Flächen der Extremitäten (besonders der unteren Extremität) und auf der Mittellinie näher gelegenen Gebieten des Rumpfes zu beobachten ist. Hier pflegen die Nachempfindungen, wenn nicht zufällig ein zu starker Reiz die Haut traf, oder wenn wir die Versuche nicht zu gedrängt und in zu rascher Aufeinanderfolge anstellen, — kürzere Zeit zu dauern, als die den einen Versuch von

dem anderen trennende Zeit beträgt. Die Einwirkung der Nachempfindungen können wir in diesem Falle, selbst bei den allernächsten Versuchen, getrost vernachlässigen.

An empfindlichen Stellen, z. B. an der medialen Fläche der Extremitäten und an den lateralen Flächen des Rumpfes, am Gesicht u. s. w. pflegen die Nachempfindungen mit bedeutender Intensität aufzutreten.

Sehr intensive Nachempfindungen können wir auch auf mit einer sehr dicken Hornschicht versehenen Hautflächen beobachten, z. B. in auffälligster Weise und am häufigsten an der Sohle. Hier entsteht, wenn wir nach dem Eintreten des *Schm.* das Thermästhesiometer von der Haut abheben, eine sehr intensive, die ausgeprägte Schmerzempfindung an Intensität noch übertreffende, schmerzhafte Nachempfindung, welche sich einige Zeit, 1—2, ja sogar 3 Secunden hindurch noch steigert und einen unerwartet hohen, voraus gar nicht zu ahnenden Grad erreichen kann. In anderen Fällen bleibt nach Entfernung des Instrumentes der damals empfundene Schmerz in Form einer Nachempfindung einige Zeit, 1—2.5 Secunden hindurch in gleicher Intensität bestehen und verliert sich dann allmählich.

Offenbar ist die Dicke der Hornschicht die Ursache dessen, dass selbst nach Entfernung des Instruments, also nach Einstellung der Wärme-Einwirkung, die Schmerzempfindung noch geraume Zeit hindurch weiter besteht, ja sogar noch ein Anwachsen zeigt. Zur Zeit des Auftretens der gewöhnlichen Schmerzempfindung konnten die Nervenapparate jene Wärme noch gar nicht aufgenommen haben, welche unmittelbar vor Entfernung des Instrumentes der oberflächlichsten Hornschicht bereits mitgetheilt wurde. Diese Wärmemenge gelangt verspätet zu den Nervenapparaten, erst dann, wenn das Instrument schon nicht mehr in Berührung mit der Haut ist.

Die Wirkung der Nachempfindung gründet sich also auf den Reizzustand der Versuchsstelle oder deren Umgebung. Nach Goldscheider[1]) setzt der durch irgend einen Wärme- oder anderen Reiz in den Nervenapparaten der Wärme-Empfindlichkeit hervorgerufene Reizzustand wegen seines eigenen Nachdauerns die Reizbarkeit derselben, d. h. die Empfindlichkeit für neue Reize, herab.

Dies geht auch aus meinen hierauf bezüglichen Versuchen hervor. So löste ich z. B. am Oberarme in der unmittelbaren Umgebung

1) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 140.

eines in der Mitte des Sulcus lateralis ausgewählten Quadrates Schmerzempfindungen aus. Hierbei wurde der bei dem gewöhnlichen Versuchsverfahren aus dem Reizzustande der Umgebung sich ergebende Versuchsfehler dadurch noch gesteigert, dass ich in der Umgebung des betreffenden Quadrates die Reizungen dicht neben einander ausführte, so dass die hyperämischen Gebiete zusammenflossen und die Nachempfindung in Gestalt einer äusserst intensiven *W.-E.* auftrat. Nach einer derartigen Reizung der Umgebung trat in dem betreffenden Quadrate bei einer *St.-G.* von 4 Sec. die *W.-E.* bei 47,9° C., der *Schm.* bei 50,9° C. auf. In demselben Quadrate erhielt ich später, ohne die Umgebung gereizt zu haben, folgende Werthe:

Einige Stunden nach dem ersten Versuch	*W.-E.* bei 47,1° C.,	*Schm.* bei 50,6° C.,	*St.-G.* —
Am nächsten Tage	„ „ 46,9° C.,	„ „ 50,2° C.,	„ 8″
„ „ „	„ „ 47,3° C.,	„ „ 50,3° C.,	„ 10″

Bei einem ähnlichen Versuche, in der Mitte des Antithenars, waren die gewonnenen Werthe:

Unmittelbar nach Reizung der Umgebung	*W.-E.* bei 46,3° C.,	*Schm.* bei 54,0° C.,	*St.-G.* 14″
Nach Verlauf von Stunden, ohne Reizung der Umgebung	„ „ 49,6° C.,	„ „ 51,2° C.,	„ 25″
Am nächsten Tage	„ „ 44,2° C.,	„ „ 52,9° C.,	„ 25″
„ „ „	„ „ 46,1° C.,	„ „ 51,2° C.,	„ 13″

Bei einem weiteren ähnlichen Versuche in der R. cruris postica dextra waren die gewonnenen Werthe:

Nach Reizung der Umgebung	*W.-E.* bei 48,4° C.,	*Schm.* bei 51,2° C.,	*St.-G.* 5″
Ohne „ „ „	„ „ 47,4° C.,	„ „ 49,9° C.,	„ 10″
Am nächsten Tage, ohne Reizung der Umgebung	„ „ 46,7° C.,	„ „ 50,9° C.,	„ 6″

Aus diesen Versuchen[1]) darf man wohl schliessen, dass der Reizzustand der Umgebung, mit anderen Worten die Nachempfindungen an den von einer gereizten Umgebung eingefassten Gebieten die Beurtheilung des Charakters der Empfindungen in dem Sinne stören, dass die Aufmerksamkeit von der neuen Empfindung, durch die gleichzeitig in der Umgebung bestehende Empfindung mehr oder weniger abgelenkt wird. In Folge dessen erhalten wir um Einiges

1) Weitere ähnliche Versuche ergaben ein vollkommen analoges Resultat.

höhere Reizschwellenwerthe als bei normaler Empfindlichkeit. Auf Gebieten, welche mit intensiven Nachempfindungen überladen sind, werden wir der einfachen *W.-E.* oft nicht früher gewahr, als bis sich irgend eine Nebenempfindung (z. B. Stechen) zu ihr gesellt. Dieser Umstand führt indessen den Charakter der Empfindung zugleich der Schmerzempfindung näher.

Aus den erwähnten Gründen habe ich die auf einander folgenden Versuche zur Prüfung der Empfindlichkeit der stets in zahlreiche Quadrate aufgetheilten Körperregionen nach Möglichkeit in weit von einander entfernten Quadraten angestellt. So verschwand dann die an den vereinzelten Stellen entstandene Nachempfindung rascher, verursachte und hielt in geringerem Maasse eine verschmelzende Hyperämie als Zeichen der Gereiztheit aufrecht. Gewöhnlich ging ich durch Ueberspringen je eines Quadrates und je einer Quadratreihe auf ein anderes Quadrat über und kehrte zu der ersten Versuchsstelle erst dann zurück, nachdem sich die Anzeichen des Reizzustandes bereits verstreut hatten[1]).

Die auf der ersten Tafel vorgeführte und durch die theilweise schon im ersten Abschnitt dieses Capitels besprochenen Diagramme bildlich dargestellte Aenderung der Empfindlichkeit stützt sich ausser auf den erwähnten Grund, nämlich auf die Steigerung des Nullpunktes, auch noch auf die Nachempfindungen. Diese sind im Stande, die Empfindlichkeit für neue Reizeinwirkungen, selbst an der nämlichen Stelle zu vermindern. Nach Erlöschen der Nachempfindungen — die hierzu nothwendige Zeit wechselt je nach der Empfindlichkeit der untersuchten Stelle und der Intensität des Reizes — erhält die Reizschwelle ihren ursprünglichen Werth zurück. In leicht übersichtlicher Weise zeigen dies die in dem zweiten Theile des II. Diagrammes erhaltenen, auf die R. carpi dorsalis dextra bezüglichen Daten, welche ich aus zwölf rasch hinter einander an dieser Stelle ausgeführten Versuchen erhielt, nachdem ich auf die an derselben Stelle ebenfalls rasch hintereinander angestellten 52 Versuche eine Pause von zehn Minuten folgen liess. Diese Pause von zehn Minuten genügte, um den Reizzustand völlig verschwinden zu machen. Die Reizschwellen sowohl der einfachen *W.-E.* als auch des *Schm.* fielen auf ihre ursprünglichen Werthe, mit anderen Worten, die normale

1) Siehe auch die in der Aufzählung der in der beispielshalber vorgeführten R. lumbalis sinistra gewonnenen Werthe. Hierauf bezügl. Stelle S. 10.

Empfindlichkeit kehrte wieder zurück. Dies wird schon dadurch bewiesen, dass derselbe Reiz, welcher bei dem 52. Versuche nur *W.-E.* auszulösen im Stande war, — nach der Pause von 10 Minuten, zum Auftreten von *Schm.* führte. Die Rückkehr der normalen Empfindlichkeit ist in erster Linie eine Folge des Erlöschens des Reizzustandes; daneben ist jedoch natürlich auch die Wirkung nicht zu vernachlässigen, welche das Zurückgehen des Nullpunktes zur Folge haben kann.

Unter der Einwirkung der zwölf neuen Reize, welche nach einer Pause von zehn Minuten in rascher Aufeinanderfolge angebracht wurden, gingen die Schwellenwerthe sowohl der *W.-E.* als auch des *Schm.* mit derselben Plötzlichkeit in die Höhe, wie vor der Pause zu Beginn der längeren Versuchsreihe. Die zwei Hälften der im Diagramm Nr. II vorgeführten Curve sind so zu sagen von gleichem Charakter.

Da ich die Erfahrung machte, dass während der Dauer der Nachempfindungen auf der gereizten Fläche Berührung oder ein anderer mechanischer Reiz sehr intensive Empfindungen auslöst, — stellte ich noch einige Versuche zum Zwecke der Feststellung dessen an, inwieweit die Empfindlichkeit der gereizten Stelle für Sinnesreize anderer Art eine Veränderung erleidet, besonders aber um zu ersehen, inwieweit sich die Tastempfindlichkeit verändert. Zu diesem Zwecke bestimmte ich die Grösse der Tastkreise einerseits unter normalen Verhältnissen und andererseits auf derselben Stelle nach Auslösung von Schmerz während der Dauer der Nachempfindungen. Die beobachtete Veränderung der Durchmesser der Tastkreise geht aus folgenden Zahlen hervor:

Ort des Versuchs	Zeit des Versuchs	Durchmesser der Tastkreise in Millimetern bei der Versuchsperson		
		I	II	III
Ballen d. Zeigefingers d. recht. Hand	Vor der Wärmereizung	1,4	0,3	—
Ballen d. Zeigefingers d. recht. Hand	Nach „ „	0,8	0,1	—
Ballen d. Mittelfingers d. recht. Hand	Vor „ „	1,3	0,5	0,6
Ballen d. Mittelfingers d. recht. Hand	Nach „ „	1,4	0,4	0.2
Daumenballen der rechten Hand .	Vor „ „	11,3	5,5	8,3
Daumenballen der rechten Hand .	Nach „ „	10,8	6,8	5.9
Ueber den I. Mittelhandknochen am Handrücken	Vor „ „	—	—	11,7
Ueber den I. Mittelhandknochen am Handrücken	Nach „ „	—	—	9,1
Dorsalfläche des II. Gliedes des Mittelfingers	Vor „ „	—	—	5,0
Dorsalfläche des II. Gliedes des Mittelfingers	Nach „ „	—	—	2,3

Diese Zahlen beweisen zur Genüge, dass die Tastempfindlichkeit nach Reizung mit Wärme in den meisten Fällen feiner wird.

In was für einer Beziehung diese Erfahrung zu jener Beobachtung Klug's[1]) steht, welche er bei Gelegenheit von mittelst des Kronecker'schen Thermästhesiometers angestellten Versuchen machte, dass nämlich die Temperaturempfindungen im Allgemeinen, ohne Rücksicht darauf, ob es Kälte- oder Wärme-Empfindungen sind, den Ortssinn verfeinern, dessen Besprechung fällt ausserhalb des Rahmens dieser Arbeit.

4. Die Rolle der Hyperämie und der Veränderungen des Nullpunktes.

Die Erscheinungsweise der nach der Wärmereizung auftretenden Hyperämie kann sehr verschiedenartig sein. In den meisten Fällen wird zuerst die gereizte Stelle selbst, und dann deren unmittelbare Umgebung hyperämisch. Mitunter jedoch, z. B. in der R. deltoidea, auf der medialen Fläche des Oberschenkels, in der R. glutaea in der Höhe des Trochanters u. s. w., machte ich die Erfahrung, dass die Hyperämie in Form von Flecken auftrat, zwischen welchen verhältnissmässig anämische Inseln zerstreut waren. In anderen Fällen folgt die Hyperämie dem Verlaufe der Blutgefässe. So erstreckte sich z. B. bei in der R. pectoralis lateralis in den Zwischenrippenräumen angebrachten Reizen die Hyperämie in querer Richtung dem Verlaufe der A. A. intercostalen folgend viel weiter als in proximal-distaler Richtung. Am Unterarm war der hyperämische Fleck von ovaler, elliptischer Gestalt, und sein längerer Durchmesser lag parallel zur Achse des Armes.

Von der Umgebung pflegt die Hyperämie gewöhnlich früher zu verschwinden, als von der gereizten Stelle selbst, wo die Nachempfindung als Reizzustand die Hyperämie, als Folgeerscheinung, noch einige Zeit hindurch bestehen lässt. Die beiden verschwinden dann gewöhnlich gemeinschaftlich.

Die störende Einwirkung der Hyperämie als Fehlerquelle war ich bestrebt im Wesentlichen in gleicher Weise zu vermeiden, wie hiervon schon bei der Besprechung der Nachempfindungen die Rede war. Bei Prüfung der Empfindlichkeit der stets in zahlreiche Quadrate eingetheilten Körperregionen habe ich die auf einander

1) Zur Physiologie des Temperatursinnes. Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig Bd. 11 S. 168. 1876.

folgenden einzelnen Versuche immer in möglichst weit von einander entfernten Quadraten ausgeführt, und habe nebstbei dazwischen liegende Quadrate, ja selbst ganze Quadratreihen übersprungen.

Die Wirkung der der Hyperämie sich anschliessenden besseren Ernährung auf die Reactionsfähigkeit der wärmeempfindlichen Nervenapparate kann übrigens im Ganzen nicht frei zur Geltung kommen. Dieselbe wird von einer anderen, mehr in den Vordergrund tretenden Wirkung, nämlich von dem Ansteigen des Nullpunktes unterdrückt. Eine an circulirendem Blute reichere Hautfläche ist zugleich auch wärmer.

Ausser des mit der durch die Reizung hervorgerufenen Hyperämie einhergehenden Wärmezuwachses erhält die Haut auch noch vom Versuchsinstrumente Wärme. In Folge dessen fühlen wir nach Anstellung von zahlreichen, rasch auf einander folgenden Versuchen die betreffende Körperregion sowohl in Folge der von dort ausgehenden subjectiven Empfindung, als auch mittelst der tastenden Finger für wärmer als vor Anstellung der Versuche. Diese Erscheinung kann man hauptsächlich an zur Auslösung von Schmerz hohe Temperatur erfordernden Gebieten, z. B. an der Sohle, beobachten.

Der Nullpunkt der Haut steigt also allmählich, welcher Umstand auf die Feinheit der Wärme-Empfindlichkeit von Einfluss ist. Nach Goldscheider[1]) setzt im Allgemeinen eine jede Veränderung der Eigentemperatur des Nervenapparates die Empfindlichkeit herab. Wenn z. B. die Haut sich abkühlt, wozu die einfache Entblössung derselben schon Gelegenheit bietet, verlieren beide Empfindlichkeitsqualitäten, besonders aber die Kälte-Empfindlichkeit, an Schärfe. Jedoch bleiben auch die Wärme-Empfindungen nicht unberührt, auch ihre Intensität wird geringer.

Dieser Umstand muss bei Vergleichung der Empfindlichkeit verschiedener Hautstellen berücksichtigt werden, denn nach Entblössung der Region während des Versuches kühlen sich die verschiedenen Hautstellen, selbst auf derselben Region, mitunter nicht gleichmässig ab. An manchen Körperregionen empfinden wir subjectiv überhaupt keine Abkühlung, obzwar die objective Untersuchung dieselbe klar nachweist. Daher kann die topographische Vergleichung wegen der Verschiedenheit der Versuchsbedingungen zu Irrthümern Anlass geben.

1) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 75.

Um die störende Einwirkung der durch Abkühlung bedingten Nullpunktsänderungen nach Möglichkeit zu vermeiden, führte ich meine Versuche bei gewöhnlicher Zimmertemperatur aus, so dass die subjective Empfindung des Abkühlens der Haut selten auftrat. Im Uebrigen, wenn die in jenen Fällen gewonnenen Werthe, wo die Abkühlung der Haut eintrat und andererseits die Ergebnisse solcher Versuche einander gegenüber gestellt werden, welche an denselben Hautstellen zu anderer Zeit — ohne dass eine merkbare Abkühlung der Haut sich gezeigt hätte — ausgeführt werden, so kann kein besonders wichtiger und bestimmter Unterschied wahrgenommen werden. Die Reizschwellenwerthe werden in den als abgekühlt empfundenen Hautgebieten bald um einige $^1/_{10}$ Grade niedriger, bald — und dieser Fall war der häufigere — höher, ohne dass man jedoch hierauf bezüglich eine Regel aufstellen könnte.

Nach Goldscheider spielt der Umstand, dass abhängig von der nicht immer gleichen Eigentemperatur der Haut die Reizschwellenwerthe auf verschiedene Höhen zu stehen kommen, in der Topographie keineswegs eine so wichtige Rolle, wie z. B. der Nervenreichthum der verschiedenen Körperregionen. Der Nervenapparat passt sich dem veränderten Nullpunkte thatsächlich rasch an, d. h. die neue Temperatur wird auch rasch zum Nullpunkte.

Die Wirkung des Ansteigens des Nullpunktes auf die Grösse der Reizschwellenwerthe ist jedoch in gewissen Fällen im Sinne des auf S. 19 bereits Besprochenen trotzdem auffallend, und zwar insofern, dass z. B. ein Reiz, welcher vor dem Ansteigen des Nullpunktes zur Auslösung einer Schmerzempfindung geeignet war, eine so intensive Empfindung nicht mehr wird auslösen können, wenn der Nullpunkt bereits höher steht. Der neuen, im Verhältniss zur früheren Intensität des Reizes abgeschwächten Empfindlichkeit entsprechend, können nur gemischte Empfindungen entstehen, z. B. schwaches Stechen als Nebenempfindung der einfachen *W.-E.* Um nun wieder jene Intensität des Reizes erreichen zu können, welche zur erneuerten Auslösung des vor dem Ansteigen des Nullpunktes ausgelösten Schmerzes nöthig ist, müssen wir einen bedeutend stärkeren Reiz zur Anwendung bringen. (S. die Diagramme auf Tafel I.)

Dieses Ansteigen des Nullpunktes ist also nach zahlreichen und in rascher Aufeinanderfolge ausgeführten Versuchen als ein nicht zu übersehender Versuchsfehler zu betrachten, bei dessen Entstehen

natürlich auch die Hyperämie der vorher längere Zeit hindurch gereizt gewesenen Hautfläche betheiligt ist.

Im Uebrigen haben auf die Schärfe der Wärmeperception auch die Veränderungen der Eigentemperatur der leitenden Nerven einigen Einfluss, insoweit, als die Abkühlung oder Erwärmung der Temperaturnerven die Leitungsfähigkeit derselben vermindert, und zwar schon bei geringen Aenderungen der Eigentemperatur (Goldscheider)[1]).

5. Die Bedeutung der Mitempfindungen.

Einige Formen des Auftretens von zu den einfachen Wärme-Empfindungen und zu dem Wärmeschmerz sich zugesellenden andersartigen Empfindungen haben in einigen Fällen ihr Entstehen der directen Reizung der Nerven zu verdanken. So erscheint z. B. bei Reizung der in der Achselgrube zwischen der Pectoralfalte und der behaarten Hautfläche gelegenen Gebiete über den ganzen Verlauf des N. medianus eine schwache Schmerzempfindung. Bei Reizung der Haut auf dem proximalmedialen Theile beider RR. glutaeal., sowie der Glutaealrinne läuft eine näher nicht zu charakterisirende, sehr beunruhigende und wegen ihrer Ungewohnheit kaum erträgliche, jedoch noch nicht schmerzhafte Empfindung, entlang des N. ischiadicus. Diese Empfindung gesellt sich zu der einfachen *W-E.*, noch bevor die Intensität des Reizes die Schmerzschwelle erreicht hat. In solchen Fällen erhalten wir niedrigere Werthe, als es nach der eigentlichen, der Empfindlichkeit thatsächlich entsprechenden Reizschwelle zu erwarten wäre, denn das Anwachsen der Wärme bis zu dem erforderlichen Grade kann nur bei starker Inanspruchnahme des Willens erwartet werden. Zu dieser Empfindung gesellen sich oft auch Muskelzuckungen, am häufigsten von Seiten des M. tibialis anticus und M. biceps femoris, welche Erscheinung darauf hinweist, dass der Wärmereiz den für die Reizung günstig, d. h. verhältnissmässig oberflächlich gelegenen Nerven direct traf.

Die aus solchen Ursachen entspringenden Veränderungen der Höhe der Reizschwellenwerthe in den erwähnten Gebieten müssen als Quelle der Abweichung der Ergebnisse in Betracht gezogen werden.

Mitunter wird die Beurtheilung der Empfindungen dadurch modificirt, dass die Wärme-Empfindungen entlang der sensiblen Nerven

1) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 144—145.

auf weitere Gebiete ausstrahlen. So strahlt z. B. bei Reizung einiger Stellen der R. pectoris lateralis die *W.-E.* auf eine entfernte, medial gelegene Stelle aus; die am Ballen der grossen Zehe entstehende Wärme-Empfindung erstreckt sich über die ganze Zehe; von dem Os coccygis aus geht die Ausstrahlung gegen den Mastdarm hin u. s. w. In solchen Fällen kommt das Instrument wahrscheinlich über einen sensiblen Nerven zu liegen, und es treten die von Goldscheider „excentrisch" genannten, d. h. auf dem ganzen Innervationsgebiet des betreffenden sensiblen Nerven sich ausbreitenden Wärme-Empfindungen auf, wie dies Goldscheider[1]) bezüglich der sensiblen Nerven auch bei Anwendung von mechanischen und elektrischen Reizen beobachtete.

In Folge der Ausstrahlung haben wir die Empfindung, dass zur Reizung eine grössere Fläche gedient hat, und dementsprechend ist dann auch das Resultat; wir erhalten nämlich niedrigere Reizschwellen-Werthe als ohne Ausstrahlung.

In verhältnissmässig seltenen Fällen sah ich auch Kälte-Empfindung sich zur einfachen *W-E.* und zum *Schm.* gesellen. So konnte ich z. B. in der Mitte der plantaren Fläche der linken grossen Zehe, weiterhin in der R. cruris lateralis sinistra, 8 cm proximalwärts vom Knöchel, sowie auch über der linken Achillessehne, in der die beiden Knöchel verbindenden Linie, neben dem *Schm.* auch eine Kälte-Empfindung deutlich wahrnehmen, welche sich mitunter mit der Nachempfindung vermischte. Dieser Umstand bezeugt, dass hier nicht von Sinnestäuschung die Rede sein kann, sondern dass man es mit einer directen Reizung der Kältepunkte durch einen Reiz von entgegengesetzter Qualität, also durch einen heterologen Reiz, zu thun hat.

Dies ist jene paradoxe Kälte-Empfindung, welche v. Frey[2]), Goldscheider[3]), Thunberg[4]), Alrutz[5]) und Andere bei

---

1) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 135—137.

2) Beiträge zur Sinnesphysiologie der Haut. III. Mitth. Berichte d. mathem.-physik. Classe d. kgl. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. zu Leipzig. Sitzung v. März 1895 S. 166—184.

3) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 120.

4) Untersuchungen über die relative Tiefenlage der kälte-, wärme- und schmerzpercipirenden Nervenenden in der Haut etc. Skandin. Arch. f. Physiol. Bd. 11 H. 6 S. 392. 1901.

5) Studien auf dem Gebiete der Temperatursinne. Skandin. Arch. f. Physiol. Bd. 10 H. 5 S. 341. 1900.

Reizung der Kältepunkte mittelst Wärme beobachteten. Alrutz erhielt diese Empfindung hauptsächlich an der vorderen Fläche des Oberschenkels, in der Ellenbeuge, am Unterarme und auf der Bauchhaut, indem er als Versuchsinstrument eine auf 70—100° C. erwärmte Silberplatte von einer Berührungsfläche von 1—4 qcm, den Thunberg'schen Apparat, benutzte. Thunberg erhielt an dünneren Hautstellen, bei Anwendung einer auf 50—100° C. erwärmten Metallplatte, mit der Intensität des Wärmereizes sich steigernde paradoxe Kälte-Empfindung, neben welcher stets nur Spuren von Wärme-Empfindung vorhanden waren, selbst nach Anwendung von Wärmereizen von 100° C. Nach v. Frey kann die paradoxe Kälte-Empfindung auch durch eine Temperatur von 40—45° C. ausgelöst werden. Bei meinen Versuchen trat die paradoxe Kälte-Empfindung auf der grossen Zehe bei 53,7° C., am Unterschenkel bei 50,8° C., auf der Achillessehne bei 49,7° C. auf.

6. Der Einfluss des Charakters der Empfindungen.

Da durch Uebung die Beurteilung des Charakters der Empfindungen verfeinert wird, so kann bei gehöriger Eingeübtheit zwischen dem Ergebnisse der ersten und andererseits der späteren Versuchsreihen eine bessere Uebereinstimmung erzielt werden. Desshalb können wir, wenn wir, um die an einem Individuum gewonnenen Versuchsresultate zu überprüfen, mit einer zweiten Person Versuche anzustellen beginnen, welche den verschiedenen Charakter der *W.-E.* und des *Schm.* mit gleicher Ruhe zu beurtheilen noch nicht vermag, bezüglich des Verhältnisses zwischen den Empfindlichkeiten verschiedener Körperregionen leicht zu abweichenden Resultaten gelangen.

Die Abweichungen im Charakter der Empfindungen sind besonders auffällig, wenn man auf dem Rumpfe oder an den Extremitäten laterale Flächen den medialen gegenüberstellt. An den lateralen Flächen der Extremitäten erscheint die einfache *W.-E.* sehr oft in Form eines schwachen Stechens und geht durch einfaches Anwachsen, ohne dass die Qualität der Empfindung eine Veränderung erleiden möchte, in den gleichfalls einen stechenden Charakter aufweisenden Schmerz über, gerade so, als ob hier zwischen beiden Empfindungen nur ein quantitativer, jedoch kein qualitativer Unterschied bestände.

Den Charakter der Empfindungen betreffend zeigen ein solches Verhalten die lateralen Flächen des Oberschenkels, des Knies, des

Unterschenkels, des Oberarmes gegenüber den medialen Flächen, — ferner auch noch die dorsalen Flächen der Unterarme gegenüber den volaren Flächen, weiterhin am Rumpfe die in der Nähe der Mittellinie gelegenen Gebiete der Brust und des Bauches gegenüber den lateralen Flächen. Am Rücken kann man im mittleren Drittel desselben eine ähnliche Abweichung in dem Verhalten der lateralen und der mehr in der Mittellinie gelegenen Gebiete beobachten.

Solche stechende, durch Steigerung des zu der einfachen *W.-E.* sich gesellenden Stechens entstehende Schmerzempfindungen sind im Allgemeinen leichter zu ertragen und auch leichter auf ein dem thatsächlich gereizten genau gleich grosses Gebiet zu localisiren. Dagegen sind die an den medialen Flächen der Extremitäten sich entwickelnden Schmerzempfindungen, welche in Form eines mehr oder weniger scharfen Zwickens, in Folge einer raschen Veränderung der Qualität der einfachen *W.-E.* entstehen und auf ein bald grösseres, bald kleineres Gebiet ausstrahlen, weniger leicht zu ertragen und nicht so leicht zu localisiren. Solche Schmerzempfindungen sind an den medialen Flächen des Oberschenkels, des Knies, des Unterschenkels und des Oberarmes, ferner an der volaren Fläche des Unterarmes und an den seitlichen Gebieten des Rumpfes auszulösen.

An diesen letzterwähnten Stellen dauern die Nachempfindungen in Form einer lebhaften *W.-E.* länger an als in den früher aufgezählten Gebieten. Aus diesem Grunde muss man zwischen den Versuchen längere Pausen eintreten lassen, wenn man die normale Reactionsfähigkeit unverändert bestehen lassen will.

Im Uebrigen können auch Reize von der gleichen Intensität, an annähernd gleich empfindlichen Stellen Empfindungen von verschiedenem Charakter auslösen. So stellte sich z. B. der *Schm.* in der R. infrascapularis sin. schon bei 45—46° C. in Form eines sehr scharfen, unangenehmen Zwickens ein, während im Gesichte, z. B. in der R. buccalis, bei derselben Temperatur ein sehr fein zu localisirendes Stechen und Brennen auftrat, wobei man die Entwicklung dieser letzteren Empfindung fast von Zehntelgrad zu Zehntelgrad verfolgen konnte.

Die Annäherung der Reizintensität zur Schwelle des *Schm.* wirkt, in Folge des Unterscheidungsvermögens der Region, nicht gewissermaassen überraschend auf dem Nervenapparat. In Gebieten mit gut entwickelter Unterschiedsempfindlichkeit kann die während der Temperatursteigerung vor sich gehende Veränderung des Em-

pfindungscharakters viel besser beobachtet werden als bei weniger entwickelter Unterschiedsempfindlichkeit, wie dies z. B. auch aus dem Vergleiche des Charakters der am Rücken und im Gesichte auslösbaren Empfindungen hervorgeht.

IV. Aufzählung der Versuchsergebnisse.

Die hier mitzutheilenden Daten sind, wie schon erwähnt wurde, aus Versuchen an einer Person gewonnene Werthe, also nicht absolute Zahlen, sondern bei der Gegenüberstellung der Regionen von verschiedener Empfindlichkeit als Grundlage zu benützende Angaben [1]).

Das aus der Vergleichung sich ergebende Verhältniss zwischen der Empfindlichkeit der verschiedenen Körperregionen ist schon von allgemeinerer Werthigkeit, wenngleich auch dies noch keine absolute Feststellung ist, insoweit als man nicht behaupten kann, dass z. B. die seitlichen Körperregionen den der Mittellinie nahe gelegenen gegenüber bei Jedermann in dem Maasse empfindlicher sein müssten, als ich es an mir fand. So viel ist jedoch wahrscheinlich, dass ein derartiges Verhältniss zwischen der Empfindlichkeit zweier ähnlich gelegener Gebiete, welches der normalen Innervation entspricht, im erwähnten Sinne selbst bei eventueller Schwankung der Grösse der Verhältnisszahl bei weitaus den meisten Menschen in Kraft bleibt. Der der Empfindlichkeit entsprechende Unterschied in der Innervation der Mittellinie nahe und andererseits seitlicher gelegener Gebiete erschien thatsächlich als eine solche Hauptregel, deren Veränderung jedenfalls eine auffällige Abnormität bedeuten müsste.

Die bezüglich der Vertheilung der sensiblen Nerven innerhalb der einzelnen Gebiete vorkommenden individuellen Schwankungen, die individuellen Abweichungen in der Dicke der Epidermis, die verschiedenen Möglichkeiten der Eingeübtheit und der Angewöhnung sind die Hauptgründe, welche die individuellen Schwankungen hervorrufen und erklärlich machen.

Aus den bisherigen Auseinandersetzungen geht es schon zur Genüge hervor, dass bei der bildlichen Darstellung der Topographie

---

1) So kann z. B. der bei mir auf der Stirne angetroffene höchste Schmerzschwellen-Werth 49° C., bei anderen Personen, der Schärfe ihrer Aufmerksamkeit, Empfindlichkeit u. s. w. entsprechend, 48° C. oder auch 50° C. sein.

der Wärme-Empfindlichkeit die zur Auslösung des *Schm.* nothwendige Intensität des Wärmereizes, in Temperaturgraden ausgedrückt, viel eher zu verwerthen ist als der Schwellenwerth der einfachen *W.-E.* Desshalb theile ich auch im Folgenden nur die auf den Schwellenwerth des *Schm.* bezüglichen Daten mit.

Damit die grosse Zahlenmenge den Ueberblick nicht allzu sehr erschwere, habe ich aus meinen nach Muster der bezüglich der beispielshalber vorgeführten R. lumbalis sinistra auf S. 10 u. 11 mitgetheilten Notizen an sämmtlichen Regionen der Körperoberfläche gesammelten Aufzeichnungen für die einzelnen Körperregionen gleichsam Auszüge zusammengestellt. In diese sind nebst Erwähnung der eventuellen speciellen Bedingungen der an der betreffenden Region ausgeführten Versuche vor Allem die an den betreffenden Regionen gefundenen Minimal- und Maximalschwellenwerthe des *Schm.* aufgenommen. Weiterhin werden die an der betreffenden Region am häufigsten beobachteten Schwellenwerthe zum Zwecke der allgemeinen Charakterisirung des Empfindlichkeitsgrades der Region vorgeführt. An symmetrisch gelegenen Regionen der beiden Körperhälften werden ausserdem noch die zwischen den niedrigsten und höchsten *Schm.*-Schwellenwerthen bestehenden Unterschiede angegeben, nebst Erwähnung dessen, ob die rechte oder die linke Seite für empfindlicher gefunden wurde.

Ebenso wie bei der Ausführung der Versuche selbst habe ich natürlich auch bei der Zusammenstellung dieser Auszüge im Allgemeinen die der neuen anatomischen Nomenclatur entsprechende Abgrenzung der Körperregionen für maassgebend genommen. Eine Ausnahme musste bezüglich der seitlichen Flächen des Rumpfes, weiterhin der radialen und ulnaren Flächen der Finger, der Zehenzwischenräume und schliesslich bezüglich der medialen Fläche der grossen und der seitlichen Fläche der kleinen Zehe gemacht werden.

Die R. hypchondriaca liegt nicht nur auf der seitlichen Fläche des Rumpfes, sondern erstreckt sich auch nach vorne und reicht fast bis zur Mittellinie; die R. abdominis lateralis reicht ebenfalls auf die vordere Fläche des Bauches hinüber und nähert sich, hauptsächlich an ihrer der R. hypogastrica benachbarten Grenze, sehr stark der Mittellinie des Bauches. Keinesfalls wäre es zweckentsprechend gewesen, sich bei den Versuchen resp. bei der Charakterisirung der Topographie der Wärme-Empfindlichkeit dieses Theiles der Körperoberfläche genau an die erwähnte regionale Eintheilung zu

halten. Die Empfindlichkeit einer jeden Region und ebenso die Abweichung dieser Empfindlichkeit von der anderer Regionen beurtheilte ich stets auf Grund der in der Region am häufigsten beobachteten Schwellenwerthe. Eben desshalb wäre mit Bezug auf die R. hypochondriaca und auf die R. abdominis lateralis, die im Allgemeinen für charakteristisch gefundene Abweichung, welche man zwischen der Empfindlichkeit seitlich und andererseits der Mittellinie näher gelegener Gebiete beobachten kann, verloren gegangen, resp. selbe wäre gewissermaassen verschmolzen.

Hätte ich die R. hypochondriaca und die R. abdominis lateralis als Ganzes untersucht, und möchte ich dieselben Regionen in ihrer üblichen Abgrenzung charakterisiren, so würde die Uebersichtlichkeit zum Mindesten gestört sein durch die entsprechende Darstellung dessen, wo die für die Unterschiede in der Empfindlichkeit seitlicher und andererseits näher der Mittellinie gelegener Gebiete charakteristischen Zahlen in dichterer Anordnung vorkommen. Eben aus diesem Grunde habe ich die seitliche Fläche des Rumpfes als Ganzes und für sich untersucht. Diesem Umstande entsprechend sind die R. hypochondriaca und die R. abdominis lateralis an zwei Stellen erwähnt. Bei der vorderen Fläche des Rumpfes ist von diesen beiden Regionen jener Theil aufgenommen, welcher sich von der Achselhöhlenlinie bis zur medialen Grenze dieser Regionen erstreckt. Der von der Achselhöhlenlinie seitlich gelegene Theil jedoch ist bei der seitlichen Fläche des Rumpfes angeführt.

In gleicher Weise musste es zweckmässig erscheinen, die radialen und ulnaren Flächen der Finger, besonders mit Rücksicht auf die grossen Abweichungen in der Dicke der Haut, gesondert zu untersuchen und zu charakterisiren. Desshalb wurden von den R. R. dorsales et volares manus diese Gebietstheile ausgeschieden.

Aus ähnlichen Gründen werden die Zehenzwischenräume, die mediale Fläche der grossen und die seitliche Fläche der kleinen Zehe gesondert vorgeführt. Von den R. R. plantares et dorsales digitorum pedis sind also diese Oberflächentheile ebenfalls abzurechnen.

Die Regionen der Nägel (R. R. unguiculares) wurden wegen der durch den grossen Leitungswiderstand der Nägel verursachten auffallenden Abweichungen in die Zusammenstellung nicht aufgenommen.

Die einzelnen Körperregionen sind im Allgemeinen in der von W. His in seinem „Die anatomische Nomenclatur“ betitelten

Werke auf S. 104 und ff. angegebenen Reihenfolge aufgezählt. Die R. pectoris lateralis sowie die R. axillaris sind unter einem besonderen Titel bei der seitlichen Fläche des Rumpfes zu finden. Eine R. costalis lateralis habe ich nicht aufgenommen, weil dieselbe in die R. pectoralis lateralis resp. in jenen Theil der R. hypochondriaca hineinfällt, welche bei der seitlichen Fläche des Rumpfes angeführt wird. Von der oben erwähnten Reihenfolge habe ich noch insoweit eine Ausnahme gemacht, dass ich die R. pudendalis der vorderen Fläche des Rumpfes anfügte.

Schliesslich soll noch erwähnt werden, dass kleinere Regionen zu grösseren zugetheilt wurden, z. B. die Fossa axillaris in die R. axillaris, die R. olecrani in die R. cubiti posterior u. s. w. Derlei Zusammenziehungen sind übrigens bei den betreffenden Regionen speciell erwähnt.

Kopf[1]).

Regio frontalis.

(Die R. supraorbitalis mit inbegriffen.)

m. 46,1° C. (unmittelbar oberhalb der Mitte der rechten Augenbraue); *mx.* 49° C. (unmittelbar oberhalb des medialen Endes der linken Augenbraue); *h.* 46,5° C., 47,4° C.

R. parietalis.

m. 48,2° C. (unmittelbar unterhalb des linken Tuber parietale); *mx.* 52,7° C. (am Scheitel, in der Mittellinie); *h*, 50° C., 50,5° C., 51,5° C. (Haare mit Maschine gestutzt, Haarlänge 2 mm.)

---

1) Die, von hier angefangen, im Texte verwendeten Abkürzungen haben folgende Bedeutung:

m. = der den an der betreffenden Region gefundenen niedrigsten *Schm.*-Schwellenwerth bezeichnende Wärmegrad. — *mx.* = der den an der betreffenden Region gefundenen höchsten *Schm.*-Schwellenwerth bezeichnende Wärmegrad. — *h.* = der Wärmegrad, welcher den an der betreffenden Region am häufigsten gefundenen, gleichsam für die Region am meisten charakteristischen *Schm.*-Schwellenwerth bezeichnet. — *U.* = der grösste Unterschied zwischen den *m.* und *mx.*-Werthen der symmetrisch gelegenen Regionen der linken und der rechten Seite; die erste Zahl bedeutet den Unterschied zwischen den minimalen *Schm.*-Schwellenwerthen der beiden Seiten, die zweite Zahl den Unterschied zwischen den maximalen Werthen. Die diesen Zahlen nachgefügten Buchstaben *l* oder *r* erklären, welche von beiden Seiten die empfindlichere war.

R. temporalis.

a) sinistra.

m. 45,7 ° C. (unmittelbar oberhalb des Jochbeines, auf unbehaarter Stelle); *mx.* 49,7 ° C. (auf behaartem Theile, unmittelbar unterhalb der Linea temporalis, von einer vom Tragus nach aufwärts gezogenen Senkrechten 2 cm brustwärts); *h.* α) am unbehaarten Theile: 45,7 ° C., 46,5 ° C.; β) am behaarten Theile (Haarlänge 2 mm): 47,4 ° C., 48,4 ° C., 49 ° C.

b) dextra.

m. 45,6 ° C. (wie links); *mx.* 51,3 ° C. (wie links, aber um 2 cm nach rückwärts); *h.* α) am unbehaarten Theile: 45,6 ° C., 46 ° C., 47 ° C.; β) am behaarten Theile (Haarlänge 2 mm): 49,4 ° C., 50,9 ° C. *U.* = 0,1 ° C. r.; 0,6 ° C. l.

R. auricularis[1]).

a) sinistra.

α) An der vorderen Fläche der Ohrmuschel: am Ohrläppchen 51 ° C., in der Mitte 49,6 C., an der oberen Hälfte der Ohrmuschel 50,5 ° C., am oberen Rande der Ohrmuschel 51,5 ° C.; β) an der hinteren Fläche der Ohrmuschel: am Ohrläppchen 51,2 ° C., in der Mitte 48,9 ° C., an der oberen Hälfte der Ohrmuschel 58,0 ° C.

b) dextra.

α) An der vorderen Fläche der Ohrmuschel: am Ohrläppchen 52,5 ° C., in der Mitte 51,5 ° C., an der oberen Hälfte der Ohrmuschel 51 ° C.; β) an der hinteren Fläche der Ohrmuschel: am Ohrläppchen 50,2 ° C., in der Mitte 54,2 ° C., an der oberen Hälfte der Ohrmuschel 56,7 ° C. *U.* = 1,3 ° C. l.; 1,3 ° C. r.

R. mastoidea[2]).

Links 50,1 ° C., rechts 50,2 ° C.

R. nasalis.

a) Mittellinie: *m.* 46,3 ° C. (an der Nasenwurzel); *mx.* 50 ° C. (Mitte des Nasenrückens). b) Rechte Seite: *m.* 49 ° C. (neben dem

1) Mit Rücksicht auf die geringe Ausdehnung dieser Region habe ich hier nicht die Werthe *m.*, *mx.* und *h.* vorgeführt, sondern die Mittelwerthe der an einzelnen, speciell bezeichneten Stellen aus wiederholten Versuchen gewonnenen Daten angegeben.

2) Wie bei der R. auricularis.

inneren Augenwinkel); *mx.* 51,6° C. (am Nasenflügel). c) Linke Seite: *m.* 46,9° C. (neben dem inneren Augenwinkel); *mx.* 48,9° C. (am Nasenflügel). *U.* = 2,1° C. l.; 2,7° C. r.

R. oralis.

(Die R. labialis superior et inferior mit inbegriffen.)

a) Umgebung der Lippen: *m.* 47° C. (unter dem rechten Mundwinkel); *mx.* 48,7° C. (links, unmittelbar oberhalb des Randes der oberen Lippe); *h.* 47,4° C., 47,8° C., 48,5° C. (Das Kinn rasirt, die Schnurrbarthaare auseinandergestrichen. Am unrasirten Kinne ist die Empfindlichkeit stumpfer.)

b) Lippen 1: *α*) untere Lippe: rechts 48,8° C., in der Mitte 49° C., links 49° C. *β*) obere Lippe: rechts 50,5° C., in der Mitte 50,5° C., links 48,2° C.

R. mentalis.

m. 46,9° C.; *mx.* 49,4° C.; *h.* 46,9° C., 47,5° C., 48° C. (Das Kinn rasirt.)

R. orbitalis.

(Die R. palpebralis superior et inferior mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 45,4° C. (unterhalb der Lidspalte, neben dem äusseren Augenwinkel); *mx.* 46,3° C. (auf dem oberen Augenlide); *h.* 45,4° C., 46,3° C.

b) dextra.

m. 45,7° C. (wie links); *mx.* 47,1° C. (wie links); *h.* 45,7° C., 45,8° C., 47,1° C. *U.* = 0,3° C. l.; 0,8° C. r.

R. infraorbitalis.

a) sinistra.

m. 46,5° C. (unmittelbar unterhalb des Margo infraorbitalis, um 1 cm vom äusseren Augenwinkel medianwärts); *mx.* 46,7° C. (vom früheren Orte um 1 cm gegen die Mittellinie hin); *h.* 46,5° C., 46,7° C.

b) dextra.

m. 45,7° C. (wie links); *mx.* 46,8° C. (im seitlichen, unteren Winkel der Region); *h.* 46,2° C., 46,4° C. *U.* = 0,8° C. r.; 0,1° C. l.

---

1) Bezeichnungen wie bei der R. auricularis.

R. buccalis.

a) sinistra.

m. 45,3° C. (am Unterkiefer, in einer Horizontalen mit dem Mundwinkel); *mx.* 48,9° C. (unmittelbar unterhalb des Os zygomaticum); *h.* 46,5° C., 47,4° C.

b) dextra.

m. 46,3° C. (oberhalb des Unterkiefers, 1 cm über dem Niveau des Mundwinkels); *mx.* 49,2° C. (in einer Linie mit dem Mundwinkel, 4 cm davon entfernt); *h.* 46,5° C., 47,4° C. *U.* = 1,0° C. l.; 0,3° C. l.

R. zygomatica.

a) sinistra.

m. 45,3° C. (neben dem äusseren Augenwinkel); *mx.* 48,2° C. (am äusseren, unteren Theile des Os zygomaticum, in einer Linie mit dem Arcus zygomaticus); *h.* 45,3° C., 45,5° C.

b) dextra.

m. 45,8° C. (wie links); *mx.* 47° C. (wie links); *h.* 46° C., 46,8° C., 47° C. *U.* = 0,5° C. l.; 1,2° C. r.

R. parotideo-masseterica.

a) sinistra.

m. 45,3° C. (am Unterkieferwinkel); *mx.* 48,8° C. (am Jochbogen); *h.* 45,8° C., 46° C., 46,5° C.

b) dextra.

m. 46,1° C. (1 cm oberhalb des Randes des Unterkiefers, in der Unterkieferwinkel-Mundwinkellinie); *mx.* 48,5° C. (neben dem Ohrläppchen); *h.* 46,6° C., 47,1° C., 47,4° C. *U.* = 0,8° C. l.; 0,3° C. r.

Fossa retromandibularis[1]).

Links 49,9° C.; rechts 49,7° C.

Hals.

R. colli anterior.

(Die R. submentalis, hyoidea, subhyoidea, laryngea, thyreoidea, suprasternalis und die Fossa jugularis mit inbegriffen.)

m. 45,7° C. (in der Mittellinie, 5 cm oralwärts von der Fossa jugularis); *mx.* 49,1° C. (in der Mittellinie, 3 cm oralwärts von der Fossa jugularis); *h.* 46,5° C., 46,9° C., 47,5° C., 48,2° C.

1) Bezeichnungen wie bei der R. auricularis.

R. submaxillaris.

a) sinistra.

m. 46,1° C. (6 cm von dem Winkel des Unterkiefers gegen das Kinn hin); *mx.* 48,2° C. (2 cm von der früheren Stelle gegen das Kinn hin); *h.* 46,8° C., 47° C., 47,5° C.

b) dextra.

m. 47,4° C. (wie links); *mx.* 51,2° C. (unmittelbar unterhalb des Unterkieferwinkels); *h.* 47,4° C., 48,4° C., 49,1° C. *U.* = 1,3° C. l.; 3° C. l.

Fossa carotica[1]).

Links 47,7° C.; rechts 45,9° C.

R. sternocleidomastoidea.

(Die Fossa supraclavicularis minor mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 46,9° C. *α*) unmittelbar über der Clavicula; *β*) neben dem Processus mastoideus); *mx.* 48,3° C. (3 cm unterhalb des Processus mastoideus, in einer Linie mit dem Unterkieferwinkel); *h.* 47° C., 47,7° C., 48,1° C.

b) dextra.

m. 46,5° C. (7 cm über der Clavicula), *mx.* 49,5° C. (wie links); *h.* 46,9° C., 47,5° C., 48° C. *U.* = 0,4° C. r.; 1,2° C. l.

R. colli lateralis.

(Die Fossa supraclavicularis major und das Trigonum omoclaviculare mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 47,3° C. (unmittelbar über der Clavicula, in der Mitte der Grenze der Region); *mx.* 48,2° C. (im oberen Winkel der Region); *h.* 47,6° C., 48° C., 48,2° C.

b) dextra.

m. 46,4° C. (wie links); *mx.* 48,3° C. (wie links); *h.* 46,8° C., 47,6° C., 48,3° C. *U.* = 0,9° C. r.; 0,1° C. l.

R. colli posterior.

(Die R. nuchae und die Fovea nuchae mit inbegriffen.)

m. 46,4° C. (in der Mitte der Region, 1 cm nach rechts von der Mittellinie); *mx.* 50,2° C. (an der oberen Grenze der Region,

1) Bezeichnungen wie bei der R. auricularis.

1 cm nach links von der Mittellinie: *h.* 46,7° C., 47° C., 47,6° C., 47,[illegible]° C., 48° C., 48,7° C. Auffällig ist die gleichmässige Empfindlichkeit der rechten Hälfte der Region (47,9—48° C.).

Rumpf.

1. Vordere Fläche.

R. sternalis.

m. 46° C. (an der Articulatio sternoclavicularis dextra); *mx.* 48,7° C. (4 cm oralwärts von der Spitze des Processus xiphoideus); *h.* 46,5° C., 47° C., 47,4° C., 47,8° C.

R. clavicularis.

a) sinistra.

m. 46,5° C. (in der Mitte der Clavicula); *mx.* 48,3° C. (5 cm seitlich von der Articulatio sternoclavicularis); *h.* 46,5° C., 46,9° C., 47,5° C.

b) dextra.

m. 46,5° C. (wie links); *mx.* 50,2° C. (2 cm medianwärts vom Acromion); *h.* 46,9° C., 47,5° C., 47,7° C. *U.* = 0; 0,7° C. l.

R. infraclavicularis.

(Das Trigonum deltoideo-pectorale mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 46,6° (1 cm caudalwärts von der Clavicula, 5 cm von der medialen Grenze); *mx.* 47,7° C. (2 cm vom früheren Orte medianwärts); *h.* 46,6° C., 47,2° C., 47,5° C.

b) dextra.

m. 42,7° C. (3 cm caudalwärts von der Clavicula, 6 cm von der medialen Grenze); *mx.* 47,5° C. (an der medialen Grenze der Region); *h.* 45,6° C., 46,8° C., 47,1° C. *U.* = 3,9° C. r.; 0,2° C. r.

R. mammalis.

a) sinistra.

m. 44,6° C. (9 cm von der caudalen Grenze der Region, 3 cm vom Rande des Sternums); *mx.* 47,9° C. (3 cm von der oralen Grenze der Region, 2 cm medianwärts von der Brustwarzenlinie); *h.* 45° C., 45,6° C., 46° C., 46,8° C., 47° C., 47,5° C. An der Brustwarze 46,3° C.

b) **dextra.**

m. 44,1 ° C. (1 cm caudalwärts von der oralen Grenze der Region, etwas seitlich von der Brustwarzenlinie); *mx.* 47,7 ° C. (in dem caudal-medialen Winkel der Region); *h.* 44,5 ° C., 45 ° C., 46 ° C., 46,8 ° C., 47 ° C. An der Brustwarze 43,7 ° C. *U.* = 0,5 ° C. r.; 0,2 ° C. r.

R. inframammalis.

a) **sinistra.**

m. 46,1 ° C. (in der Brustwarzenlinie); *mx.* 50,1 ° C. (3 cm seitlich von der Brustmittellinie); *h.* 46,5 ° C., 47,3 ° C., 49,5 ° C.

b) **dextra.**

m. 47,3 ° C. (an der lateralen Grenze der Region); *mx.* 51,5 ° C. (2 cm von der Brustmittellinie); *h.* 48 ° C., 48,6 ° C., 49,6 ° C. *U.* = 1,2 ° C. l.; 1,4 ° C. l.

R. epigastrica.

m. 47,4 ° C. (an der caudalen Grenze der Region, 6 cm nach links von der Mittellinie); *mx.* 49,2 ° C. (2 cm oralwärts von der caudalen Grenze der Region, 3 cm nach rechts von der Mittellinie); *h.* 47,8 ° C., 48,4 ° C., 48,8 ° C.

R. hypochondriaca.

(Resp. jener Theil der Region, welcher von der Achselhöhlenlinie medianwärts gelegen ist.)[1]

a) **sinistra.**

m. 47,4 ° C. (in dem caudal-lateralen Winkel des Gebietstheiles); *mx.* 48,6 ° C. (3 cm lateralwärts vom Processus xiphoideus); *h.* 47,8 ° C., 48 ° C., 48,3 ° C.

b) **dextra.**

m. 47,6 ° C. (4 cm von der Mittellinie, 3 cm caudalwärts von der oralen Grenze des Gebietstheiles); *mx.* 48,8 ° C. (in dem oralen, medialen Winkel des Gebietstheiles); *h.* 47,7 ° C., 48,1 ° C. *U.* = 0,2 ° C. l.; 0,2 ° C. l.

R. umbilicalis.

m. 46,3 ° C. (1 cm nach links von der Mittellinie, an der caudalen Grenze der Region); *mx.* 48,7 ° C. (3 cm nach links von der Mittellinie, 2 cm caudalwärts vom Nabel); *h.* 46,8 ° C., 47 ° C., 47,5 ° C., 48 ° C., 48,4 ° C.

---

1) Den übrigen Theil der Region siehe bei der lateralen Fläche des Rumpfes.

R. abdominis lateralis.

(Resp. jener Theil der Region, welcher von der Achselhöhlenlinie medianwärts gelegen ist.)[1]

a) sinistra.

m. 45,8° C. (unmittelbar unterhalb des Rippenbogens, an der seitlichen Grenze der Region); *mx.* 47,9° C. (3 cm caudalwärts von der früheren Stelle, etwas gegen die Mittellinie hin); *h.* 46,6° C., 47,1° C., 47,5° C.

b) dextra.

m. 46,7° C. (wie links, jedoch um 1 cm caudalwärts); *mx.* 48,4° C. (in derselben Höhe, aber an der medialen Grenze des Gebietstheiles); *h.* 47,2° C., 47,6° C., 47,9° C. *U.* = 0,9° C. l.; 0,5° C. l.

R. pubica.

m. 47° C. (1 cm nach links von der Mittellinie, in der Höhe der die Region in querer Richtung halbirenden Linie); *mx.* 50,3° C. (an der caudalen Grenze der Region, 4 cm nach rechts von der Mittellinie); *h.* 47,6° C., 47,9° C., 48,1° C., 48,4° C., 48,9° C. Die Behaarung wurde nicht entfernt, jedoch während des Versuches aus einander geglättet.

R. inguinalis.

a) sinistra.

m. 46,8° C. (in der Mitte der Region); *mx.* 48,4° C. (an der oralen Grenze der Region, 1 cm lateralwärts von der medialen Grenze); *h.* 46,9° C., 47,3° C., 47,9° C.

b) dextra.

m. 47,5° C. (2 cm oralwärts von dem medial-caudalen Winkel der Region, spärliche Behaarung); *mx.* 48,8° C. (1 cm caudalwärts von der früheren Stelle); *h.* 47,6° C., 47,9° C., 48,6° C. *U.* = 0,7° C. l.; 0,4° C. l.

R. pudendalis.

a) Scrotum.

m. 42,8° C. (in der Mittellinie, unten); *mx.* 48,1° C. (an der hinteren Fläche, 2 cm nach links von der Raphe); *h.* 44,6° C., 45,3° C., 46,3° C., 47,1° C.

---

1) Den übrigen Theil der Region siehe bei der lateralen Fläche des Rumpfes.

b) Penis[1].

Vorn: 44,7 ° C. (an der Wurzel des Gliedes), 45,1 ° C., 45,7 ° C. (an der Haut der Glans). An der Harnröhre: 46,8 ° C. (in der Nähe des Bulbus) 45,3 ° C., 45,6 ° C.

2. Laterale Fläche.

R. axillaris.

(Die Fossa axillaris mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 46,1 ° C. (in der Mitte der Falte des M. pectoralis); *mx.* 48,2 ° C. (in der Falte des M. pectoralis, an der Grenze der R. deltoidea); *h.* 46,5 ° C., 47,2 ° C., 47,5 ° C., 47,7 ° C.

b) dextra.

m. 45,5 ° C. (2 cm von der Falte des M. pectoralis gegen die Achselhöhle hin, in der Höhe des oralen Randes des Brustwarzenhofes), *mx.* 49,1 ° C. (an der gegen die R. brachii medialis gelegenen Grenze der Region, an behaarter Stelle); *h.* 45,9 ° C., 46,2 ° C., 46,5 ° C., 46,7 ° C., 47 ° C., 47,5 ° C. *Ü.* = 0,6 ° C. r.; 0,9 ° C. l.

R. pectoris lateralis.

a) sinistra.

m. 44,4 ° C. (an der caudalen Grenze der Region, in der Mitte der Grenzlinie); *mx.* 47,6 ° C. (an der medialen Grenze der Region, in der Berührungslinie der R. mammalis und inframammalis); *h.* 45,3 ° C., 45,7 ° C., 45,9 ° C., 46,3 ° C., 46,7 ° C.

b) dextra.

m. 44,9 ° C. (2 cm oralwärts von der caudalen Grenze der Region, 2 cm von der medialen Grenze); *mx.* 47,9 ° C. (2 cm seitwärts von der früheren Stelle); *h.* 45,3 ° C., 45,5 ° C., 45,8 ° C., 46,1 ° C., 46,6 ° C., 46,9 ° C. *Ü.* = 0,5 ° C. l.; 0,3 ° C. l.

R. hypochondriaca.

(Resp. jener Theil der Region, welcher von der Achselhöhlenlinie seitwärts und dorsalwärts gelegen ist.)

a) sinistra.

m. 44,3 ° C. (6 cm brustwärts von der Achselhöhlenlinie, 5 cm oralwärts von der caudalen Grenze des Gebietstheiles); *mx.* 47,3 ° C.

1) Bezeichnungen wie bei der R. auricularis.

(2 cm caudalwärts von der oralen Grenze des Gebietstheiles, in der Achselhöhlenlinie); *h.* 45,3° C., 45,5° C., 45,8° C., 46,5° C.

b) dextra.

m. 45,3° C. (wie links); *mx.* 47,3° C. (wie links, aber 4 cm caudalwärts); *h.* 45,7° C., 46,1° C., 46,3° C., 46,6° C. *U.* = 1° C. l.; 0.

R. abdominis lateralis.

(Resp. jener Theil der Region, welcher von der Achselhöhlenlinie seitwärts und dorsalwärts gelegen ist.)

a) sinistra.

m. 43,1° C. (2 cm oralwärts von der Crista ilei, 2 cm brustwärts von der Achselhöhlenlinie); *mx.* 47,1° C. (2 cm von der früheren Stelle gegen den Rücken hin); *h.* 43,3° C., 43,6° C., 45° C., 45,5° C., 45,8° C., 46,7° C.

b) dextra.

m. 44,2° C. (2 cm oralwärts von der Crista ilei, 2 cm von der Achselhöhlenlinie gegen den Rücken hin); *mx.* 47,3° C. (in unmittelbarer Nähe der Crista ilei, in der Achselhöhlenlinie); *h.* 45,1° C., 45,8° C., 47,3° C., 47,6° C., 48° C., 48,1° C. *U.* = 1,1° C. l., 0,2° C. l.

3. Hintere Fläche.

R. mediana dorsi.

m. 43,9° C. (im linken, caudalen Winkel der Region, in der Höhe des letzten Lendenwirbels); *mx.* 48,8° C. (in der Höhe des II. Lendenwirbels, 2 cm nach rechts von der Mittellinie); *h.* 45,1° C., 45,8° C., 47° C., 47,3° C., 47,6° C., 48° C., 48,1° C.

R. scapularis.

(Das zwischen dieser Region und der R. mediana dorsi gelegene, „R. interscapularis“ genannte Gebiet mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 44,6° C. (am medialen Rande der Scapula, 6 cm oralwärts von der caudalen Grenze der Region); *mx.* 48,9° C. (an der Spina scapulae, 2 cm medialwärts vom Acromion); *h.* 45,5° C., 45,8° C., 46,9° C., 47,2° C., 48° C.

b) dextra.

m. 45,6 ° C. (4 cm caudalwärts von der Höhenlinie der Spina, 3 cm gegen die Mittellinie hin vom medialen Rande der Scapula); *mx.* 48,4 ° C. (wie links); *h.* 46,6 ° C., 47,2 ° C., 47,5 ° C., 47,8 ° C. *U.* = 1 ° C. l.; 0,5 ° C. r.

R. suprascapularis.

a) sinistra.

m. 45,7 ° C. (am oral-medialen Winkel der Scapula); *mx.* 48,6 ° C. (an der Spina scapulae, 3 cm medianwärts vom Acromion); *h.* 46,4 ° C., 46,9 ° C., 47,4 ° C., 47,9 ° C.

b) dextra.

m. 46,4 ° C. (8 cm oralwärts von der Mitte der Spina scapulae); *mx.* 49 ° C. (wie links); *h.* 47 ° C., 47,2 ° C., 47,4 ° C., 47,8 ° C., 48 ° C., 48,2 ° C. *U.* = 0,7 ° C. l.; 0,4 ° C. l.

R. infrascapularis.

a) sinistra.

m. 42,7 ° C. (2 cm oralwärts von der caudalen Grenze der Region, 2 cm medianwärts von der lateralen Grenze); *mx.* 48,2 ° C. (im oral-medialen Winkel der Region); *h.* 43,5 ° C., 44,1 ° C., 45,3 ° C., 45,7 ° C., 46,5 ° C., 47,1 ° C., 47,5 ° C.

b) dextra.

m. 43 ° C. (wie links); *mx.* 48,2 ° C. (3 cm oralwärts von der caudalen Grenze der Region, 4 cm lateralwärts von der medialen Grenze; weiterhin am oral-lateralen Winkel der Region); *h.* 44 ° C., 45 ° C., 45,4 ° C., 46,5 ° C., 47 ° C., 47,5 ° C., 47,9 ° C. *U.* = 0,3 ° C. l.; 0.

R. lumbalis.

a) sinistra.

m. 41,4 ° C. (1 cm oralwärts von der Crista ilei, 2 cm medianwärts von der lateralen Grenze der Region); *mx.* 47,4 ° C. (2 cm caudalwärts vom oral-medialen Winkel der Region); *h.* 43 ° C., 43,4 ° C., 45,4 ° C., 46,5 ° C.

b) dextra.

m. 42,7 ° C. (2 cm oralwärts von der Crista ilei, an der lateralen Grenze der Region); *mx.* 47,8 ° C. (im oral-medialen Winkel der

Region); *h.* 42,8° C., 43,2° C., 43,6° C., 44,7° C., 45,4° C., 45,7° C. *U.* = 1,3° C. l.; 0,4° C. l.

R. coxae.

a) sinistra.

m. 46,7° C. (unmittelbar distalwärts von der Crista ilei, in der Mitte der oralen Grenze der Region); *mx.* 48,5° C. (im dorsalen Winkel der Region); *h.* 46,9° C., 47,2° C., 47,5° C., 47,7° C., 48,1° C.

b) dextra.

m. 46,8° C. (3 cm distalwärts von der oralen Grenze der Region, 5 cm von der vorderen Grenze); *mx.* 48,4° C. (3 cm oralwärts von dem proximalen Winkel der R. trochanterica); *h.* 47,2° C., 47,5° C., 47,9° C., 48,1° C., 48,3° C. *U.* = 0,1° C. l.; 0,1° C. r.

R. sacralis.

m. 44,1° C. (an der oralen Grenze der Region, in der Mittellinie); *mx.* 47,5° C. (an der Spitze des Os coccygis); *h.* 44,9° C., 45,5° C., 45,7° C., 46,4° C., 46,6° C.

R. glutaea.

a) sinistra.

m. 46,5° C. (an der oralen Grenze der Region, 15 cm von der medialen Grenze); *mx.* 50,2° C. (unmittelbar proximalwärts von der glutaealen Falte, in dem medial-distalen Winkel der Region); *h.* 46,9° C., 47,4° C., 48° C., 48,9° C., 49,3° C., 49,8° C.

b) dextra.

m. 45,7° C. (4 cm distalwärts von der Crista ilei, 7 cm von der medialen Grenze der Region); *mx.* 50,6° C. (12 cm proximalwärts von der glutaealen Falte, 3 cm von der medialen Grenze der Region); *h.* 47,1° C., 47,7° C., 48,3° C., 48,8° C., 49,4° C., 50,2° C. *U.* = 0,8° C. r.; 0,4° C. l.

R. perinealis.

(Die R. analis und urogenitalis mit inbegriffen.)

m. 43,7° C. (über dem Bulbus urethrae); *mx.* 50,3° C. (2 cm nach links vom Anus); *h.* 46,7° C., 47,3° C., 47,7° C. Am Anus: 47,3° C.

Extremitäten.

1. Obere Extremität.

R. acromialis[1]).

Rechts: 49° C.; links: 49,5° C.

R. deltoidea.

a) sinistra.

m. 47° C. (1 cm distalwärts vom Acromion); *mx.* 48,8° C. (im ventral-proximalen Winkel der Region, neben der Clavicula, weiterhin in der Mittellinie der Region, 6 cm proximalwärts vom Ansatze des M. deltoideus); *h.* 47,4° C., 47,8° C., 48,2° C.

b) dextra.

m. 47,4° C. (an der dorsalen und an der ventralen Grenze der Region, 5 cm distalwärts vom Acromion; *mx.* 48,9° C. (2 cm proximalwärts vom Ansatze des M. deltoideus); *h.* 47,4° C., 48° C., 48,4° C., 48,6° C. *U.* = 0,4° C. l.; 0,1° C. l.

R. brachii lateralis[2]).

a) sinistra.

48,9° C., 48,4° C. (*m.*), 48,6° C., 48,6° C., 49,1° C. (*mx.*), 48,9° C.

b) dextra.

48,3° C. (*m.*), 49,7° C., 49,2° C., 49,4° C., 50,1° C. (*mx.*), 49,3° C. *U.* = 0,1° C. r.; 1° C. l.

R. brachii medialis[2]).

a) sinistra.

48,4° C., 48,8° C. (*mx.*), 47,4° C. (*m.*), 47,6° C., 47,9° C., 48,5° C., 48,7° C.

b) dextra.

47,6° C., 47,2° C. (*m.*), 48,3° C. (*mx.*), 47,9° C., 48,3° C., 48,2 C. *U.* = 0,2° C. r.; 0,5° C. r.

R. brachii anterior.

a) sinistra.

m. 45,9° C. (an der distalen Grenze der Region, in der Mittellinie derselben); *mx.* 48,7° C. (an der lateralen Grenze der Region,

1) Bezeichnungen wie bei der R. auricularis.

2) Bezeichnungen wie bei der R. auricularis. Die Daten sind in der Reihenfolge von den proximalen Theilen der Region gegen die distalen Theile hin angegeben.

am Ansatze des M. deltoideus); *h*, 46,5° C., 46,9° C., 47,4° C., 47,9° C., 48,1° C., 48,4° C.

b) dextra.

m. 46,9° C. (2 cm von der medialen Grenze der Region, gegen die Mittellinie derselben hin, 4 cm distalwärts von der proximalen Grenze); *mx.* 48,8° C. (an der medialen Grenze der Region, 1 cm proximalwärts von der distalen Grenze); *h.* 47,1° C., 47,6° C., 47,8° C., 48° C., 48,4° C. *U.* = 1° C. l.; 0,1° C. l.

R. brachii posterior.

a) sinistra.

m. 47,4° C. (5 cm proximalwärts von der distalen Grenze der Region, 3 cm vom Sulcus bicipitalis med.); *mx.* 49,3° C. (an der distalen Grenze und 2 cm medianwärts von der Mittellinie der Region); *h.* 48,4° C., 48,6° C., 48,9° C.

b) dextra.

m. 47,2° C. (an der proximalen Grenze der Region, 1 cm medialwärts von der Mittellinie der Region); *mx.* 49° C. (7 cm proximalwärts von der distalen Grenze der Region, 1 cm medialwärts von der Mittellinie der Region); *h.* 47,6° C., 47,9° C., 48,1° C., 48,4° C., 48,7° C., 48,9° C. *U.* = 0,2° C. r.; 0,3° C. r.

R. cubiti anterior.

(Die Fossa cubitalis mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 46,4° C. (2 cm von der medialen Grenze der Region, gegen die Mittellinie derselben hin, 1 cm proximalwärts von der distalen Grenze); *mx.* 48,3° C. (1 cm medialwärts von der früheren Stelle); *h.* 46,7° C., 47° C., 47,4° C.

b) dextra.

m. 46,7° C. (im distal-medialen Winkel der Region); *mx.* 48,1° C. (im distal-lateralen Winkel der Region); *h.* 46,9° C., 47° C., 47,4° C., 47,6° C. *U.* = 0,3° C. l.; 0,2° C. r.

R. cubiti posterior.

(Die R. olecrani mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 47,3° C. (im medial-distalen Winkel der Region); *mx.* 51,2° C. (2 cm lateralwärts vom Olecranon); *h.* 48° C., 48,4° C., 49° C., 49,5° C.

b) **dextra.**

m. 48° C. (2 cm lateralwärts vom Olecranon); *mx.* 51° C. (an der lateralen Grenze, 2 cm proximalwärts von der distalen Grenze der Region); *h.* 48° C., 48,4° C., 48,7° C., 49,1° C., 49,4° C. *U.* = 0,7° C. l.; 0,2° C. r.

R. cubiti lateralis.

a) **sinistra.**

m. 47,9° C. (im proximalen, vorderen Winkel der Region); *mx.* 49,1° C. (an der dorsalen Grenze der Region, 1 cm distalwärts von der proximalen Grenze); *h.* 47,9° C., 48,2° C., 48,4° C., 48,5° C.

b) **dextra.**

m. 47,3° C. (an der proximalen Grenze der Region, 1 cm ventralwärts von der dorsalen Grenze); *mx.* 49,2° C. (im distal-dorsalen Winkel der Region); *h.* 47,6° C., 48,2° C., 48,6° C., 48,8° C., 49° C. *U.* = 0,6° C. r.; 0,1° C. l.

R. cubiti medialis.

a) **sinistra.**

m. 47,4° C. (im proximal-ventralen Winkel der Region); *mx.* 48,2° C. (1 cm distalwärts von der früheren Stelle); *h.* 47,4° C., 47,9° C., 48,1° C.

b) **dextra.**

m. 46,9° C. (1 cm distalwärts von der proximalen Grenze der Region, an der ventralen Grenze); *mx.* 48° C. (1 cm proximalwärts von der früheren Stelle); *h.* 47,3° C., 47,6° C. *U.* = 0,5° C. r.; 0,2° C. r.

R. antebrachii volaris.

a) **sinistra.**

m. 45,9° C. (an der distalen Grenze der Region, 2 cm von der radialen Grenze); *mx.* 48,4° C. (4 cm distalwärts von der proximalen Grenze der Region, 3 cm von der ulnaren Grenze); *h.* 46,5° C., 46,8° C., 47° C., 47,2° C., 47,6° C., 47,8° C., 48° C.

b) **dextra.**

m. 47° C. (7 cm distalwärts von der proximalen Grenze der Region, in der Mittellinie derselben); *mx.* 48,8° C. (an der radialen Grenze der Region, 6 cm distalwärts von der proximalen Grenze); *h.* 47,4° C., 47,6° C., 47,8° C., 48,2° C., 48,4° C. *U.* = 1,1° C. l.; 0,4° C. l.

R. antebrachii dorsalis.

a) sinistra.

m. 47,2° C. (in der Mitte der Region); *mx.* 47,9° C. (an der proximalen, weiterhin an der distalen Grenze der Region); *h.* 47,3° C., 47,5° C., 47,6° C., 47,7° C.

b) dextra.

m. 47,8° C. (7, weiterhin 15 cm proximalwärts von der distalen Grenze der Region); *mx.* 49,3° C. (an der distalen Grenze der Region); *h.* 48,1° C., 48,3° C., 48,5° 48,8° C. *U.* = 0,6° C. l.; 1,4° C. l.

R. antebrachii radialis.

a) sinistra.

m. 47,1° C. (an der volaren Grenze der Region, 5 cm, weiterhin 9 cm proximalwärts von der distalen Grenze); *mx.* 48,1° C. (an der dorsalen Grenze der Region, 3 u. 5 cm von der proximalen Grenze); *h.* 47,3° C., 47,5° C., 47,6° C., 47,9° C., 48° C.

b) dextra.

m. 47,8° C. (an der volaren Grenze der Region, 3 cm distalwärts von der proximalen Grenze); *mx.* 49,6° C. (an der volaren Grenze der Region, 3 cm proximalwärts von der distalen Grenze); *h.* 47,9° C., 48,3° C., 48,5° C., 48,6° C., 48,8° C., 49° C., 49,2° C. *U.* = 0,7° C. l.; 1,5° C. l.

R. antebrachii ulnaris.

a) sinistra.

m. 47,3° C. (an der volaren Grenze der Region, in der Mitte des Unterarmes); *mx.* 49,4° C. (2 cm distalwärts von der proximalen Grenze der Region, weiterhin an der dorsalen Grenze, 2 cm proximalwärts von der distalen Grenze); *h.* 47,7° C., 47,9° C., 48,2° C., 48,5° C., 48,8° C., 49° C.

b) dextra.

m. 47,8° C. (wie links); *mx.* 49,3° C. (am Capitulum ulnae, weiterhin an der dorsalen Grenze, 15 cm proximalwärts vom Capitulum); *h.* 47,9° C., 48,1° C., 48,4° C., 48,8° C., 49° C., 49,1° C. *U.* = 0,5° C. l.; 0,1 C. r.

R. dorsalis manus.

a) sinistra.

m. 46,6° C. (2 cm proximalwärts vom Köpfchen des Os metacarpi II.); *mx.* 48,8° C. (an der Mitte des Os metacarpi I.); *h.* 46,8° C., 47,2° C., 47,3° C., 47,6° C., 47,8° C., 48° C.

b) dextra.

m. 47,6° C. (neben dem Köpfchen des Os metacarpi I., 2 cm von der proximalen Grenze der Region); *mx.* 49,5° C. (über der Articulatio metacarpo-phalangea III., weiterhin an der Mitte des Os metacarpi II.); *h.* 48,2° C., 48,4° C., 48,7° C., 49,2° C. *U.* = 1° C. l.; 0,7° C. l.

R. volaris manus.

a) sinistra.

m. 46,6° C. (2 cm proximalwärts von dem Metacarpo-phalangealgelenk des Os metacarpi II.); *mx.* 50,4° C. (in der Mitte des ulnaren Randes der Handfläche); *h.* 46,8° C., 47,8° C., 48° C., 48,7° C., 49,4° C., 49,9° C., 50,2° C.

b) dextra.

m. 48,6° C. (wie links); *mx.* 52,7° C. (2 cm von der Mitte der Handfläche gegen den ulnaren Rand hin); *h.* 48,9° C., 49,5° C., 49,7° C., 50,5° C., 51,1° C., 51,7° C. *U.* = 2° C. l.; 2,3° C. l.

R. R. dorsales digitorum[1]).

a) sinistrae.

m. 46,5° C. (am Nagelfalz des Ringfingers); *mx.* 48,9° C. (über der Articulatio metacarpo-phalangea III.); *h.* 47,1° C., 47,6° C., 47,7° C., 47,9° C., 48,1° C.

b) dextrae.

m. 46,6° C. (wie links); *mx.* 52,1° C. (an der Articulatio interphalangea I. des Zeigefingers); *h.* 47,8° C., 48,2° C., 48,9° C., 49,1° C., 49,5° C., 50° C. *U.* = 0,1° C. l.; 3,2° C. l.

---

1) Die Nagelgebiete (R. R. unguiculares) zeigen natürlich ein so abweichendes Verhalten, dass die auf dieselben bezügl. Daten hier nicht aufgenommen werden konnten. Die radialen und ulnaren Flächen der Finger habe ich, mit Rücksicht auf die grossen Abweichungen in der Dicke der Epidermis, gesondert geprüft. Da ich die auf diese Flächen bezüglichen Daten später gesondert aufzähle, wurden die auf der radialen und auf der ulnaren Seite gelegenen Theile der R. R. dorsales digitorum hier nicht in Betracht gezogen.

R. R. volares digitorum[1]).

a) sinistrae.

m. 48,2° C. (über der Articulatio metacarpo-phalangea I.); *mx*. 54,8° C. (am Ballen des Zeigefingers); *h*. 49,6° C., 49,9° C., 50,4° C., 51,1° C., 51,7° C., 52,6° C., 53,5° C., 54,5° C.

b) dextrae.

m. 48,9° C. (über der Articulatio interphalangea I. des Daumens); *mx*. 53,2° C. (wie links); *h*. 50,4° C., 50,8° C., 51,4° C., 51,9° C., 53° C. *U*. = 0,7° C. l.; 1,6° C. r.

Die radialen und ulnaren Flächen der Finger.

a) Links.

m. 47,6° C. (an der ulnaren Fläche des Zeigefingers, an der Articulatio interphalangea I.); *mx*. 53,1° C. (am III. Gliede des Zeigefingers, an der radialen Seite); *h*. 47,9° C., 48,4° C., 48,8° C., 49° C., 49,3° C., 50,4° C., 51,1° C.

b) Rechts.

m. 47,7° C. (in der Mitte des I. Gliedes des Mittelfingers, an der radialen Fläche); *mx*. 53,4° C. (wie links); *h*. 48,1° C., 48,5° C., 48,8° C., 49,5° C., 50° C., 50,7° C., 51,7° C., 52,6° C. *U*. = 0,1° l.; 0,3° C. l.

2. Untere Extremität.

R. subinguinalis.

a) sinistra.

m. 47,3° C. (7 cm von der Spina ossis ilei ant. sup. gegen die mediale Grenze der Region); *mx*. 49° C. (2 cm lateralwärts von dem medial-proximalen Winkel der Region); *h*. 47,6° C., 48° C., 48,6° C.

b) dextra.

m. 47,5° C. (wie links); *mx*. 49,5° C. (in unmittelbarster Nähe der Spina ossis ilei ant. sup.); *h*. 47,6° C., 48,2° C., 48,6° C., 49° C. *U*. = 0,2° C. l., 0,4° C. l.

R. femoris anterior.

a) sinistra.

m. 47,3° C. (in der Mittellinie des Oberschenkels, 2 cm distalwärts von dem Niveau des Trochanter); *mx*. 49,7° C. (an der lateralen

1) Wie bei den R. R. dorsales digitorum.

Grenze der Region, 15 cm proximalwärts von der Patella); *h.* 47,7° C., 48° C., 48,4° C., 48,7° C., 49,1° C., 49,4° C.

b) dextra.

m. 47,3° C. (an der medialen Grenze der Region, 10 cm distalwärts von der Symphyse); *mx.* 52,7° C. (wie links, aber 20 cm proximalwärts von der Patella); *h.* 47,8° C., 48,5° C., 49° C., 49,6° C., 50° C., 50,5° C., 51,5° C. *U.* = 0; 3° C. l.

R. femoris lateralis.

a) sinistra.

m. 47,2° C. (4 cm distalwärts vom Trochanter); *mx.* 49,7° C. (in der Mitte der Region, sowie in dem dorsal-distalen Winkel derselben); *h.* 47,7° C., 48,1° C., 48,5° C., 48,9° C.

b) dextra.

m. 47,5° C. (10 cm distalwärts vom Trochanter, sowie in der Mitte der Region); *mx.* 49,7° C. (2 cm proximalwärts von der Mitte der distalen Grenzlinie der Region); *h.* 47,9° C., 48,2° C., 48,5° C. *U.* = 0,3° C. l.; 0.

R. trochanterica.

a) sinistra.

m. 46,5° C. (im proximalen Winkel der Region); *mx.* 48,9° C., (2 cm proximalwärts von der distalen Grenze der Region); *h.* 47,3° C., 47,7° C., 48,1° C.

b) dextra.

m. 47,7° C. (wie links); *mx.* 49,7° C. (im distalen Winkel der Region); *h.* 48,4° C., 48,5° C. *U.* = 1,2° C. l.; 0,8° C. r.

R. femoris posterior.

a) sinistra.

m. 46,3° C. (in der die Region quer halbirenden Linie, an der medialen Grenze); *mx.* 49,6° C. (dortselbst aber an der lateralen Grenze); *h.* 47,2° C., 47,7° C., 47,9° C., 48,3° C.

b) dextra.

m. 46,6° C. (wie links); *mx.* 48,7° C. (im distal-lateralen Winkel der Region, 3 cm medialwärts weiterhin 2 cm proximalwärts von dieser Stelle, 4 cm von der medialen Grenze); *h.* 47,1° C., 47,3° C., 47,6° C., 47,9° C., 48,2° C. *U.* = 0,3° C. l.; 0,9° C. r.

R. femoris medialis.

a) sinistra.

m. 46,4° C. (in der Mitte der Region, an der dorsalen Grenze derselben); *mx.* 48,4° C. (an der proximalen Grenze der Region, unmittelbar neben der glutaealen Falte); *h.* 46,7° C., 47° C., 47,3° C., 47,7° C.

b) dextra.

m. 46,2° C. (an der vorderen Grenze der Region, 8 cm von der proximalen Grenze); *mx.* 49° C. (6 cm proximalwärts von der distalen Grenze der Region); *h.* 46,7° C., 47,2° C., 47,6° C., 48,1° C. *U.* = 0,2° C. r.; 0,6° C. l.

R. genu anterior.

(Die R. patellaris mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 48,6° C. (im medial-distalen Winkel der Region); *mx.* 51,5° C. (in der Mittellinie der Region, 1 cm distalwärts von der Patella); *h.* 48,7° C., 49,2° C., 49,8° C., 50,2° C., 50,4° C., 50,9° C., 51,4° C. An der Patella: *h.* 49,7° C., 50,1° C., 50,4° C., 50,9° C.

b) dextra.

m. 48,4° C. (wie links); *mx.* 52,5° C. (im lateral-distalen Winkel der Region); *h.* 48,8° C., 49,6° C., 50,1° C., 50,4° C., 51,1° C., 51,5° C., 52° C. An der Patella: *h.* 50° C., 50,5° C., 51,5° C., 52° C. *U.* = 0,2° C. r.; 1° C. l.

R. genu posterior.

(Die Fossa poplitaea mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 46,5° C. (4 cm von der medialen Grenze der Region gegen die Kniebeuge hin): *mx.* 50,2° C. (im lateral-distalen Winkel der Region); *h.* 47° C., 47,5° C., 47,7° C., 48,2° C., 48,8° C., 49,7° C.

b) dextra.

m. 45,9° C. (in der Mitte der Kniebeuge); *mx.* 48,6° C. (wie links); *h.* 46,6° C., 47° C., 47,4° C., 47,6° C., 48,3° C. *U.* = 0,6° C. r.; 1,6° C. r.

R. cruris anterior.

a) sinistra.

m. 48,5° C. (an der Tibia, 3 cm proximalwärts vom Malleolus medialis); *mx.* 52,5° C. (an der Tibia, neben dem medialen Rande derselben, 22 cm proximalwärts vom Malleolus medialis); *h.* 49,9° C., 50,4° C., 50,9° C., 51,1° C., 51,9° C.

b) dextra.

m. 49° C. (im proximal-lateralen Winkel der Region); *mx.* 53,1° C. (in der Mitte der Region, neben dem ventralen Rande der Tibia, weiterhin 4 cm proximalwärts vom Malleolus lateralis); *h.* 49,5° C., 50,7° C.; 51° C., 51,6° C., 52,4° C. *U.* = 0,5° C. l.; 0,6° C. l.

R. cruris posterior.

(Die R. suralis mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 47,4° C. (5 cm distalwärts vom proximal-medialen Winkel der Region); *mx.* 50,6° C. (15 cm proximalwärts von der die Malleoli verbindenden Linie, 1 cm lateralwärts von der Mittellinie der Region); *h.* 47,9° C., 48,3° C., 48,7° C., 49° C., 49,3° C., 49,6° C., 50° C.

b) dextra.

m. 47,1° C. (3 cm distalwärts von der proximalen Grenze, in der Mittellinie der Region); *mx.* 49,9° C. (8 cm proximalwärts vom Malleolus lateralis, an der lateralen Grenze); *h.* 47,7° C., 48,3° C., 48,7° C., 49° C., 49,3° C. *U.* = 0,3° C. r.; 0,7° C. r.

R. cruris lateralis.

a) sinistra.

m. 48° C. (in der Mitte der Region, an der dorsalen Grenze); *mx.* 50,8° C. (8 cm proximalwärts vom Malleolus lat.); *h.* 48° C., 48,4° C., 49,3° C., 49,9° C., 50,2° C.

b) dextra.

m. 47,6° C. (4 cm proximalwärts von der Mitte der Region); *mx.* 50,2° C. (am Köpfchen der Fibula); *h.* 48,1° C., 48,7° C., 49,3° C., 49,6° C., 50° C. *U.* = 0,4° C. r.; 0,6° C. r.

R. cruris medialis.

a) sinistra.

m. 47,4° C. (10 cm proximalwärts vom Malleolus med., unmittelbar neben der Kante der Tibia); *mx.* 49,5° C. (16 cm proximalwärts vom Malleolus medialis); *h.* 47,6° C., 48,1° C., 49° C.

b) dextra.

m. 47,4° C. (in der Mitte der Region, unmittelbar neben der Kante der Tibia); *mx.* 49,3° C. (1 cm proximalwärts vom Malleolus medialis); *h.* 47,6° C., 48,1° C., 48,4° C., 48,9° C. *U.* = 0; 0,2° C. r.

R. malleolaris lateralis.

(Die Fossa retromalleolaris lateralis mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 47,6° C. (im ventral-distalen Winkel der Region); *mx.* 51,2° C. (an der Spitze des Malleolus); *h.* 47,7° C., 48,7° C., 49,2° C.

b) dextra.

m. 48° C. (wie links); *mx.* 50,4° C. (wie links); *h.* 48,2° C., 49,2° C. *U.* = 0,4° C. l.; 0,8° C. r.

R. malleolaris medialis.

(Die Fossa retromalleolaris medialis mit inbegriffen.)

a) sinistra.

m. 48,3° C. (2 cm distalwärts vom Malleolus); *mx.* 51,1° C. an der Spitze des Malleolus); *h.* 48,5° C., 49° C., 49,3° C., 49,6° C.

b) dextra.

m. 47,3° C. (wie links); *mx.* 49,6° C., (im ventral-proximalen Winkel der Region); *h.* 47,8° C., 48,4° C. *U.* = 1° C. r.; 1,5° C. r.

R. calcanea.

a) sinistra.

m. 50° C. (an der Achillessehne, 1 cm distalwärts von der die beiden Malleoli verbindenden Linie); *mx.* 58,4° C. (an der Grenze des plantaren Theiles der Ferse, Callus); *h.* 50,4° C., 51,6° C., 52,4° C., 57,6° C.

b) dextra.

m. 50° C. (2 cm distalwärts vom Malleolus, an der Achillessehne); *mx.* 60,7° C. (wie links); *h.* 50,2° C., 55,1° C., 57,2° C. *U.* = 0; 2,3° C. l.

R. dorsalis pedis.

a) sinistra.

m. 47,3° C. (in der Mitte der den Malleolus medialis mit dem Ballen der grossen Zehe verbindenden Linie); ***mx.*** 50° C. (in der Mittellinie der Region, 2 cm distalwärts von der Fussbeuge); ***h.*** 47,6° C., 48° C., 49,1° C., 49,4° C.

b) dextra.

m. 47° C. (8 cm von der Basis der III. Zehe gegen die Fussbeuge hin); ***mx.*** 52,8° C. (am Köpfchen des V. Mittelfussknochens); ***h.*** 47,6° C., 48° C., 48,4° C., 49° C., 49,6° C. *U.* = 0,3° C. r.; 2,8° C. l.

R. plantaris pedis.

a) sinistra.

m. 48,4° C. (an der Grenze des distalen und des mittleren Drittels der die II. Zehe mit der Ferse verbindenden Linie); ***mx.*** 68,8° C. (an der callösen Haut der Ferse); ***h.*** 49,2° C., 49,4° C., 51,3° C., 52,1° C., 52,7° C., 53,3° C., 56,9° C., 65° C., 66,3° C.

b) dextra.

m. 46,2° C. (in der Mitte des Fussgewölbes); ***mx.*** 80° C. (an der sehr dicken, callösen Haut der Sohle, 4 cm von der Basis der kleinen Zehe gegen die Ferse hin); ***h.*** 47,5° C., 47,7° C., 49,5° C., 50,7° C., 51,3° C., 52,6° C., 54,2° C., 56,7° C., 58,8° C., 64,3° C., 65,6° C. *U.* = 2,2° C. r.; 11,2° C. l.

R. R. dorsales digitorum pedis[1]).

a) sinistrae.

m. 47,4° C. (am Nagelfalz der grossen Zehe); ***mx.*** 53,3° C. (an der Artic. interphal. I. der II. Zehe, Callus); ***h.*** 47,4° C., 47,8° C., 49,4° C.

b) dextrae.

m. 46,5° C. (wie links); ***mx.*** 49,1° C. (am I. Gliede des II. Zehe); ***h.*** 47,2° C., 47,9° C., 48,4° C. *U.* = 0,9° C. r.; 4,2° C. r.

---

1) Die Gebiete der Nägel betreffend siehe die auf die Hand bezügliche Anmerkung. Die zwischen den Zehen gelegenen Flächen sind nicht mit eingerechnet.

R. R. plantares digitorum pedis[1]).

a) sinistrae.

An der grossen Zehe, gegen den Ballen hin schreitend: 53,9° C., 54,4° C., 53,8° C. An den übrigen Zehen, in den Beugen: 46° C., 49,6° C. An den Ballen der Zehen: 50,5° C., 52,8° C.

b) dextrae.

An der grossen Zehe, distalwärts schreitend: 48,7° C., 50,7° C., 51,3° C. An den übrigen Zehen, in den Beugen: 44,8° C., 47,9° C. An den Ballen der Zehen: 50,3° C., 50,1° C., 52,6° C., 50,5° C.

Die zwischen den Zehen gelegenen Flächen.

Von der grossen gegen die kleine Zehe hin schreitend: 47,5° C., 47,8° C., 47,6° C., 48,2° C. Mediale Fläche der grossen Zehe: 51,2° C., 54,3° C. Laterale Fläche der kleinen Zehe: 51,2° C., 51,9° C.

Zum Zwecke der Ergänzung der für die einzelnen Gebiete zusammengestellten excerptmässigen Angaben, und um die gesammten Versuchsergebnisse übersichtlicher zu machen, habe ich die an den einzelnen Quadraten von 4 qcm Fläche gewonnenen *Schm.*-Schwellenwerthe auch bildlich dargestellt. (Siehe Taf. II, III und IV.) Diese Abbildungen wurden so verfertigt, dass die vordere und die hintere Körperoberfläche resp. die auf der Taf. IV dargestellten Körperoberflächentheile (die beiden lateralen Flächen des Kopfes, die beiden Sohlenflächen, die Umgebung des Mittelfleisches) in natürlicher Grösse auf Papier aufgezeichnet und dann in so viel und derart gelegene Quadrate eingetheilt wurden wie bei den Versuchen selbst.

Um die je nach den Abweichungen in den *Schm.*-Schwellenwerthen, in der Wärme-Schmerzempfindlichkeit der einzelnen Gebietseinheiten beobachteten Unterschiede entsprechend hervortreten zu lassen, wurden die einzelnen Quadrate mit den Unterschiedsstufen entsprechenden Tuschlösungen von bekannter Concentration möglichst gleichmässig überzogen.

Vorangeschickte Versuche haben eine gehörige Orientirung dafür abgegeben, dass bei der photographischen Reproduction solcher Abbildungen allzu zahlreiche Abstufungen, wegen der graduellen Verschmelzung der Uebergangsgrenzen, nicht mit der nöthigen Schärfe

1) Wie bei den R. R. dors. digit. pedis. Bezeichnungen wie bei der R. auricul.

neben einander hervortreten. Eben desshalb habe ich im Ganzen neun Abstufungen gewählt und war bestrebt, die *Schm.*-Schwellenwerthe in diese einzufügen [1]).

Nach Durchmusterung der Versuchsergebnisse erschien es am zweckentsprechendsten, die sieben Abstufungen, welche zwischen den beiden die überhaupt beobachteten extremsten Werthe bezeichnenden Stufen zu liegen kommen, derart von einander zu scheiden, dass die Tonusunterschiede derselben einen Unterschied von 1 ° C. in den *Schm.*-Schwellenwerthen bezeichnen sollen.

Der mit 44 ° bezeichnete Tonus wurde bei solchen Gebietseinheiten verwendet, deren *Schm.*-Schwellenwerth bei 44,5 ° C. oder bei einem noch niedrigeren Temperaturgrade lag. Der mit 45 ° bezeichnete Tonus entspricht einer durch die von 44,6 ° C. bis 45,5 ° C. gehenden Schwellenwerthe gemessenen Empfindlichkeit, der mit 46 ° bezeichnete einer solchen von 45,6 ° C. bis 46,5 ° C. u. s. w. Der mit 52 ° bezeichnete Tonus schliesslich entspricht solchen Gebietseinheiten, auf welchen der *Schm.*-Schwellenwerth bei 51,6 ° C. oder bei einem noch höheren Temperaturgrade erhältlich war [2]).

Wenn man die Abbildungen und die auf die einzelnen Regionen bezüglichen, oben angeführten Zahlenangaben einander gegenüberstellt, kann man sich davon überzeugen, dass die *m.*- und *mx.*-Werthe der betreffenden Region auch auf den Abbildungen leicht aufzufinden sind. Man darf jedoch nicht ausser Acht lassen, dass das Nebeneinanderstellen der einzelnen Tonusstufen zum Auftreten

---

1) Die Zeichnungen wurden mit Hülfe eines Goerz'schen Doppel-Anastigmaten in gut zerstreutem Tageslicht, aus einer Entfernung von 3 m, mit einem 24er Diaphragma und einer Expositionsdauer von 1 Sec. auf Lumière-sche Bromsilbergelatine-Trockenplatten photographirt.

2) 1. Stufe, 44° = Grundfarbe des Papiers. 2. 45° = 45 ccm destillirtes Wasser + 3 Tropfen Tusche (Liquid chinese Ink. E. Wolff & Son, London). 3. 46° = 45 ccm Wasser + 11 Tropfen Tusche. 4. 47° = 43 ccm Wasser + 24 Tropfen Tusche. 5. 48° = 45 ccm Wasser + 3 ccm Tusche. 6. 49° = 40 ccm Wasser + 6 ccm Tusche. 7. 50° = 45 ccm Wasser + 15 ccm Tusche. 8. 51° = 40 ccm Wasser + 34 ccm Tusche. 9. 52° = reine Tusche.

In den auf die Wärme-Empfindlichkeit bezüglichen Abbildungen Goldscheider's (Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 Taf. VI.) ist die stumpfere Empfindlichkeit mit hellem, die grössere Empfindlichkeit mit dunklem Tonus bezeichnet. Dass ich gerade die umgekehrte Bezeichnungsart wählte, geschah hauptsächlich mit Rücksicht auf die Extremitäten, deren, besonders an den distalsten Theilen, stumpfe Empfindlichkeit im dunklen Tonus viel stärker hervortritt.

von Contrasterscheinungen Anlass gibt. Dies tritt besonders bei empfindlicheren, d. h. mit hellerem Tonus bezeichneten Gebietstheilen hervor, deren Tonus, zwischen Quadrate von dunklerem Tonus eingekeilt, heller erscheint, als wenn man das betreffende Quadrat für sich, von der Nachbarschaft isolirt betrachtet.

V. Analyse der Versuchsergebnisse.

Die in dem vorigen Capitel mitgetheilten Daten weisen auch bezüglich der Wärme-Empfindlichkeit der hier in Betracht gezogenen Versuchsperson vor Allem auf die Richtigkeit jener Beobachtung E. H. Weber's hin, dass die an der Mittellinie gelegenen Theile des Rumpfes weniger empfindlich sind als die lateralen Flächen, und dass der Rumpf empfindlicher ist als die Extremitäten.

Zwischen der Empfindlichkeit der medialen und der lateralen Theile des Rumpfes finden wir den Unterschied besonders in dem Falle gut ausgeprägt, wenn wir die in der Mittellinie oder deren Umgebung gelegenen Gebietseinheiten mit möglichst weit von denselben seitlich gelegenen vergleichen. Das schon erwähnte Verhältniss zwischen der Empfindlichkeit dieser Gebiete ist jedoch nicht überall in dem Sinne anzutreffen; mitunter kann es auch ein umgekehrtes sein. Desshalb kann auch von der geringeren Empfindlichkeit der Mittellinie nur im Allgemeinen gesprochen werden, wie dies auch schon Dessoir[1]) betonte. Auch Goldscheider[2]) fand, dass der Unterschied in der Empfindlichkeit medialer und lateraler Gebiete besonders dann klar zum Ausdrucke kommt, wenn wir die medialen Gebiete überhaupt und nicht genau die Mittellinie mit den lateralen Flächen vergleichen.

Von diesem Standpunkte ausgehend lässt sich bezüglich der bei meinen Versuchen gefundenen Verhältnisse so viel sagen, dass am Kopfe, in der R. parietalis, der höchste Schwellenwerth in die Mittellinie fiel, aber schon an der gegen die R. occipitalis gelegenen Grenze dieser Region fanden sich in der Nachbarschaft der Mittellinie Gebietstheile, welche empfindlicher waren als die Umgebung. Den auf der Stirn, in der Mittellinie gefundenen empfindlichen Gebietstheil umgaben solche seitlicher gelegene Gebietstheile, welche eine um

1) l. c.

2) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 303.

1—2,3 ° C. höhere Reizschwelle zeigten. Wenn dagegen zur Vergleichung grössere Gebiete herangezogen werden und die Stirn durch senkrechte Linien in drei Theile getheilt wird, so tritt die im Verhältniss zu den seitlich gelegenen Dritteln im Allgemeinen geringere Empfindlichkeit des mittleren Drittels scharf genug hervor.

In der R. nuchae, unmittelbar neben der Mittellinie rechts, lag ein streifenförmiger Gebietstheil, welcher viel empfindlicher war als die davon seitwärts gelegenen. Die Stelle der höchsten Reizschwelle dagegen lag links von der Mittellinie. An der vorderen Fläche des Halses fiel sowohl der *mx.*- als auch der *m.*-Werth in die Mittellinie.

Das proximale Drittel der R. mediana dorsi zeigte eine grössere durchschnittliche Empfindlichkeit als die seitlicher gelegenen R. R. scapulares und hauptsächlich deren der R. deltoidea nächstbenachbarte Theile, welche bereits in die weniger empfindlichen Felder der Streckseite der oberen Extremität übergehen. Am Rücken war die Empfindlichkeit der Haut in der Mittellinie, jener der lateralen Umgebung gegenüber, nur im mittleren Drittel geringer, wo die weniger empfindlichen Gebiete der Mittellinie zwischen die beiderseitigen, weit empfindlicheren R. R. infrascapulares und lumbales eingezwängt sind.

Die R. sacralis war hinwiederum bedeutend empfindlicher als die seitlicher gelegenen R. R. glutaeae; die Crista ilei bildete zwischen den beiden Gebieten von verschiedener Empfindlichkeit eine scharfe Grenze. In der R. glutaea selbst lag der *mx.*-Werth eher medial; die empfindlicheren Gebietstheile dagegen lagen mehr seitlich.

An der vorderen Fläche des Rumpfes trat die geringere Empfindlichkeit der medialen Theile besser hervor. Der am Sternum gewonnene *mx.*-Werth war um 1,2 ° C. höher als der der R. infraclavicularis dextra und um 1 ° C. höher als der der R. infraclavicularis sinistra; zwischen den *m.*-Werthen bestand nur auf der rechten Seite ein Unterschied (3,3 ° C.) zu Gunsten der lateralen Fläche, auf deren grössere Empfindlichkeit übrigens auch noch die *h.*-Werthe hinweisen.

In den beiden R. R. mammales waren sowohl die *m.*- als auch die *mx.*- und die *h.*-Werthe niedriger als an dem zwischen den beiden Regionen gelegenen Theile der R. sternalis.

Am Epigastrium und auf den demselben benachbarten Gebieten der R. umbilicalis muss man eine sehr grosse Fläche zusammenfassen, damit die geringere Empfindlichkeit der Mittellinie klar hervortrete. Innerhalb dieses grossen Gebietes dienen einige

von der Mittellinie etwas entferntere Gebietseinheiten gleichsam als zweite Stufe für das Ansteigen der Reizschwelle der Mittellinie. Auch im Hypogastrium waren die weniger empfindlichen Quadrate um die Mittellinie herum gruppirt.

Die beiden Seiten des Körpers wiesen bezüglich ihrer Empfindlichkeit ein abweichendes Verhalten auf insoweit, als die linke Seite im Allgemeinen häufiger und an zahlreicheren Körperregionen eine grössere Empfindlichkeit zeigte als die rechte.

Dies konnte z. B. am Kopfe beobachtet werden, wo die R. temporalis, die R. orbitalis, die Seitenflächen der Nase und die Unterlippe links im Allgemeinen empfindlicher waren als rechts. Besonders gross war die Abweichung zwischen den beiden Seitenflächen der Nase (*U.* = 2,1 ° C. resp. 2,7 ° C.).

Die Unterschiede zwischen den *Schm.*-Schwellenwerthen der rechten und der linken Seite der Brustfläche sprachen in der R. pectoris lateralis (*U.* = 0,5 ° C. resp. 0,3 ° C.), weiterhin im auf der lateralen Fläche des Rumpfes gelegenen Theile der R. hypochondriaca (*U.* = 1 ° C.) — ebenfalls für die grössere Empfindlichkeit der linken Seite. Am Epigastrium und in der R. pubica waren die weniger empfindlichen Gebietseinheiten eher auf der rechten Seite vorzufinden; der *mx.*-Werth lag rechts, der *m.*-Werth dagegen links. In beiden Theilen der R. abdominis lateralis wiesen die Unterschiede ebenfalls auf die grössere Empfindlichkeit der linken Seite hin. Am Rücken fanden sich verhältnissmässig zahlreichere, empfindlichere Gebietseinheiten als rechts. Selbst auf einem schmalen Streifen, wie z. B. die R. mediana dorsi (3 Quadrate, also im Ganzen 6 cm breit), sprach der Unterschied fast in der ganzen Länge der Region für die grössere Empfindlichkeit der linken Seite; der *m.*-Werth lag links, der *mx.*-Werth dagegen rechts von der Mittellinie.

In einigen Regionen war dagegen das Verhältniss ein umgekehrtes, z. B. auf der Stirn, in der Umgebung der Unterlippe und am Halse, besonders in einigen Theilen der R. nuchae. Hier traten die Extreme an der linken Seite eher hervor als rechts; der *mx.*-Werth lag links, der *m.*-Werth dagegen rechts von der Mittellinie. Von den R. R. mammales war gleichfalls die rechte die empfindlichere (*U.* = 0,5 ° C. r.; 0,2 ° C. r.); ebenso war die rechte R. infraclavicularis empfindlicher als die linke (*U.* = 3,9 ° C. r.; 0,2 ° C. r.). Die R. umbilicalis nimmt gewissermaassen eine Mittel-

stellung ein insoweit, als auf diesem Gebiete nicht nur der *m.*-, sondern auch der *mx.*-Werth auf der linken Seite lag.

An den Extremitäten zeigte in den meisten Fällen ebenfalls die linke Seite eine grössere Empfindlichkeit. Dagegen sind als gewichtigere Ausnahmen zu erwähnen: an der oberen Extremität die R. cubiti medialis (*U.* = 0,5° C. r.; 0,2° C. r.), die R. cubiti lateralis (*U.* = 0,6° C. r. —, mit Bezug auf die *m*-Werthe), die R. R. volares digitorum (U = 1,6° C., mit Bezug auf die *mx.*-Werthe); an der unteren Extremität die R. trochanterica (*U.* = 0,8° C. mit Bezug auf die *mx.*-Werthe), die R. glutaea (*U.* = 0,8° C. r. mit Bezug die *m.*-Werthe), die R. femoris posterior (*U.* = 0,9° C. r. mit Bezug auf die *mx.*-Werthe), die R. genu post. (*U.* = 0,6° C. r.; 1,6° C. r.), die R. cruris post. (*U.* = 0,3° C. r.; 0,7° C. r.), die R. malleol. lat. (*U.* = 0,8° C. r., mit Bezug auf die *mx.*-Werthe), die R. malleol. med. (*U.* = 1° C. r.; 1,5° C. r.), die R. plantaris pedis (*U.*=2,2° C. r. mit Bezug auf die *m.*-Werthe), die R. R. dorsales digit. pedis (*U.* = 0,9° C. r.; 4,2° C. r., Callus).

Die grössere Empfindlichheit der linken Seite an den Extremitäten tritt besser hervor, wenn wir zur Grundlage des Vergleiches im Allgemeinen die *h.*-Werthe wählen.

Bezüglich der Beugefläche der oberen Extremitäten fällt es auf den topographischen Abbildungen auf, dass der proximal von der Fossa cubiti beginnende empfindliche Fleck (mit Reizschwellen-Werthen von 45,6—46,5° C.) links ohne Unterbrechung bis zum Handgelenke sich hinzieht, während derselbe rechts auf den schmalen Streif der Fossa cubiti beschränkt bleibt, sich am Unterarme nur nach einer Unterbrechung wieder fortsetzt und das Handgelenk gar nicht erreicht. Auch auf der Handfläche ist die durchschnittlich grössere Empfindlichkeit der linken Seite gut zu erkennen.

Auf der Streckseite tritt besonders am Unterarme, am Handrücken und an den Fingern der Unterschied zu Gunsten der linken Seite hervor.

Auf den unteren Extremitäten treten an der vorderen Fläche links die weniger empfindlichen Felder vom Drehpunkte weiter auf und sind, besonders in den distaleren Theilen, in geringerer Anzahl anzutreffen als rechts. An der hinteren Fläche ist dagegen links die Ausbreitung der empfindlicheren Flecke geringer und wird häufiger von Flecken mit verhältnissmässig stumpferer Empfindlichkeit unterbrochen als rechts. Von den Knöcheln proximalwärts, in der

R. cruris posterior ist zwar die Empfindlichkeit links gleichmässiger als rechts, jedoch im Allgemeinen stumpfer.

Der von anderen Beobachtern übereinstimmend angenommene Satz, dass nämlich die linke Seite die empfindlichere ist, zeigte also in meinem Falle nur im Allgemeinen eine Gültigkeit. Derselbe kann nur auf Grund der Mittelwerthe der von sehr vielen Körperregionen zusammengefassten Daten angenommen werden.

Aus dem Bisherigen kann man zugleich ersehen, dass, wie dies schon Goldscheider[1]) feststellte, das topographische Bild der symmetrischen Regionen beider Körperhälften in mancher Beziehung verschieden ist. Irgend einem empfindlichen Gebietstheil auf der linken Seite kann rechts ein weniger empfindlicher entsprechen und umgekehrt. Dies tritt besonders deutlich im distalen Drittel der R. femoris posterior, in der R. buccalis, in den R. R. mammales u. s. w. hervor.

In der Empfindlichkeit beider Körperhälften fand ich den grössten Unterschied (3,9° C.) zwischen den *m.*-Werthen der beiderseitigen R. R. infraclaviculares. Weitere grosse Unterschiede waren noch: in den R. R. submaxillares 3° C. (zwischen den *mx.*-Werthen), an den dorsalen Flächen der Finger (3,2° C.); in den R. R. femoris ant. (3° C.), also an solchen Gebieten, wo man die grossen Abweichungen nicht auf die verschiedene Callosität der Haut zurückführen kann.

Diese auf die grössten Unterschiede in der Empfindlichkeit beider Körperhälften bezüglichen Zahlenwerthe stehen den Angaben Donáth's[2]) ziemlich nahe. Nach ihm beträgt bezüglich der Wärme-Empfindlichkeit der grösste Unterschied zwischen beiden Körperhälften 3,4° C.

Der Rumpf zeigte sich auch in meinem Falle im Allgemeinen empfindlicher als die Extremitäten. Dies tritt besonders klar hervor, wenn der vorderen Fläche des Rumpfes die Beugefläche der Extremitäten und der hinteren Fläche des Rumpfes die Streckfläche der Extremitäten gegenübergestellt wird. Wenn man jedoch die ganze vordere Fläche des Rumpfes, besonders auch die R. epigastrica, in

---

1) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 167.

2) Ueber die Grenzen des Temperatursinnes im gesunden und kranken Zustande. Archiv f. Psychiatrie und Nervenkrankheiten Bd. 15 S. 695. Ref.: Hoffmann-Schwalbe, Jahresber. ü. d. Fortschritte d. (Anat. u.) Physiol. Bd. 14 S. 200. 1885.

Betracht zieht, so wird die Abweichung gegenüber der Beugefläche z. B. der oberen Extremitäten nur mit Bezug auf die Hände und die Finger merklich. Der Oberarm, die Ellenbeugen und auch die Beugeflächen des Unterarmes wiesen nur gegenüber der Brust eine geringere Empfindlichkeit auf. Dagegen war die Streckseite der rechten oberen Extremität, des linken Oberarmes und der Ellenbogengegend in ausgeprägter Weise weniger empfindlich als die ganze hintere Fläche des Rumpfes.

An den unteren Extremitäten stand die Empfindlichkeit der Beugefläche in der proximalen Hälfte der Extremität einigermaassen der des Rumpfes nahe. Die distale Hälfte zeigte dagegen eine bedeutend stumpfere Empfindlichkeit als der Rumpf. Ebenso war die gesammte Streckfläche der unteren Extremitäten (mit Ausnahme des Fussrückens) weniger empfindlich als die hintere Fläche des Rumpfes. Schliesslich war die grösste Abweichung in der Empfindlichkeit des Rumpfes und der Extremitäten darin zu sehen, dass man eine auf ein so grosses Gebiet ausgebreitete scharfe Empfindlichkeit wie an den Lendentheilen, an den Extremitäten nirgends vorfinden konnte.

Die Veränderung der Empfindlichkeit gegen das Ende der Extremitäten hin besteht nicht nur in einer in distaler Richtung fortschreitenden graduellen Verminderung derselben, sondern zeigt auch an den dazwischen liegenden Stellen verschiedene Schwankungen, wie man das von den Diagrammen auf Tafel V und VI gut ablesen kann. Bei diesen Diagrammen stellt die oberste Linie die Schwankungen der auf dem betreffenden Gebiete beobachteten *mx.*-Werthe, die darunter folgende die Schwankungen der höchsten der auf diesem Gebiete am häufigsten vorkommenden *Schm.*-Schwellenwerthe, die dritte Linie die des kleinsten der letzteren und die unterste schliesslich die Schwankungen der auf diesem Gebiete beobachteten *m.*-Werthe dar[1]).

Bezüglich der Beugefläche der oberen Extremitäten (Taf. V *D. 1*) finden wir, dass die Empfindlichkeit sowohl rechts als auch links bis zur R. cubiti anterior, wenn auch in geringem Maasse, stieg, — von da an dagegen gegen die R. antebrachii volaris hin

1) Die grössere Empfindlichkeit entspricht also dem tieferen Gange der Curve, und die Steigung dieser letzteren ist gleichwerthig mit dem Stumpferwerden der Empfindlichkeit.

etwas fiel, so dass diese letztere Region kaum empfindlicher war als die R. deltoidea. Gegen die Hände und Finger hin wurde hierauf die Empfindlichkeit plötzlich um sehr Vieles geringer. An der gesammten Beugefläche der oberen Extremität war die R. cubiti anterior das überhaupt empfindlichste Gebiet.

An der Streckseite (Taf. V *D. 2*) war die Empfindlichkeit von den proximalen Theilen gegen die R. cubiti posterior hin schreitend beiderseits im Allgemeinen bedeutend geringer. In distaler Richtung weiter schreitend stieg sie dann wieder, und dieses Anwachsen der Empfindlichkeit tritt an der R. antebrachii dorsalis besonders auf Grund der Gegenüberstellung der *mx.*-Werthe hervor.

Links ist dies nicht nur der unmittelbar benachbarten, jedoch proximaler gelegenen R. cubiti gegenüber, sondern — abgesehen von den *m.*-Werthen — auch gegenüber der R. deltoidea genügend auffällig.

Die Empfindlichkeit der R. dorsalis manus sinistra stand der der R. deltoidea nahe. Im ersteren Gebiete traten die Extreme (das Ansteigen der *mx.*- und das Sinken der *m.*-Werthe) mehr in den Vordergrund als in der proximaler gelegenen R. antebrachii dorsalis. Noch deutlicher sehen wir das an den Fingern, deren Empfindlichkeit der der R. deltoidea so zu sagen gleich war.

Rechts war die Empfindlichkeit der R. antebrachii dorsalis im Allgemeinen etwas schwächer als die der R. deltoidea. Ebenso war die der dorsalen Flächen der Finger geringer als die der R. antebrachii dorsalis (von den *m.*-Werthen abgesehen). Das Hervortreten der Extreme ist hier noch auffälliger als links, besonders wenn wir das Verhältniss, in welchem die an der proximalst gelegenen R. deltoidea gewonnenen Werthe zu einander stehen, mit dem gegenseitigen Verhältniss der an den Fingern gewonnenen Werthe vergleichen.

Der Unterschied in der Empfindlichkeit proximaler und distaler Theile der oberen Extremität tritt hauptsächlich an kleinen Gebieten, wie z. B. an einem Finger, hervor. Am linken Zeigefinger war die Reihenfolge der *Schm.*-Schwellenwerthe, von der Basis gegen die Spitze hin schreitend, die folgende: 48,5° C., 49° C., 49,6° C., 52,6° C., 52,8° C., 52,9° C., 54,8° C. Im Wesentlichen ähnliche Verhältnisse wiesen auch die übrigen Finger auf, abgerechnet den Umstand, dass die im Allgemeinen für proximaler gelegene Stellen charakteristische grössere Empfindlichkeit von Zeit zu Zeit wiederkehrt. Das erste Glied der Finger war stets empfindlicher als der

Fingerballen. An der dorsalen Fläche der Finger war das Verhältniss meist ein umgekehrtes. Hier waren die empfindlichsten Stellen an der die Nagelwurzel bedeckenden feinen, dünnen Haut aufzufinden. So betrug z. B. der *Schm.*-Schwellenwerth am ersten Gliede des Ringfingers 48,9 ° C., an der die Nagelwurzel bedeckenden Haut dagegen 46,6 ° C.

An der ganzen Streckseite der oberen Extremität war links die R. antebrachii dorsalis, rechts die R. deltoidea die überhaupt empfindlichste Region.

Die Diagramme, welche die Veränderung in der Empfindlichkeit der Beugeflächen der unteren Extremitäten in proximal-distaler Richtung darstellen (Taf. VI *D 1*), bieten im Allgemeinen ein ähnliches Bild wie die auf die Beugefläche der oberen Extremität bezüglichen. Im Wesentlichen finden wir nur darin eine Abweichung, dass die *m.*-Werthe der der Handfläche entsprechenden Sohle niedriger sind als die *m.*-Werthe nicht nur der R. calcanea, sondern auch der R. cruris posterior. An gewissen Stellen der Sohle können also intensivere Wärme-Empfindungen auftreten als an der Beugefläche des Unterschenkels. Einige Stellen der Sohle zeigten sogar eine grössere Empfindlichkeit als die empfindlichsten Stellen der Hautfläche. Die Empfindlichkeit der R. glutaea war im Allgemeinen stumpfer als die der distaler gelegenen R. femoris posterior. Die R. genu posterior zeigte rechts ein ähnliches Verhalten wie die R. cubiti anterior, — links wie die R. antebrachii volaris. Das bedeutendste Anwachsen der Empfindlichkeit der R. glutaea gegenüber zeigte sich links an der R. femoris posterior. Auf derselben Seite war das überhaupt empfindlichste Gebiet der Beugefläche der unteren Extremität die R. femoris posterior, rechts dagegen die R. genu posterior.

Das Bild der Diagramme, welche die in proximal-distaler Richtung verlaufenden Veränderungen in der Empfindlichkeit der Streckseite der unteren Extremitäten darstellen (Taf. VI, *D 2*), zeigt — abgesehen davon, dass die Stelle der geringsten Empfindlichkeit etwas distalwärts verschoben ist — im Grossen und Ganzen eine Aehnlichkeit mit den Diagrammen der Streckseite der oberen Extremitäten. Die Empfindlichkeit fiel gegen die R. cruris anterior hin schreitend stufenweise ab; in der R. dorsalis pedis nahm sie dagegen wieder bedeutend zu. Die Empfindlichkeit zeigte sogar weiter, gegen die R. R. dorsales digitorum pedis hin, noch ein weiteres An-

steigen, mit Ausnahme des links an callöser Stelle gefundenen *mx.*-Werthes. Diese Erscheinung, dass nämlich auch die R. R. dorsales digitorum pedis genügend empfindlich waren, bedeutet ebenfalls eine gewisse Abweichung gegenüber der Empfindlichkeit der analog distal gelegenen Theile der Hände. Auf der ganzen unteren Extremität waren rechts an der Streckseite die dorsalen Flächen der Zehen am empfindlichsten; dieselben waren um einige Zehntel-Grad C. sogar empfindlicher als die R. subinguinalis. Links war dagegen umgekehrt die R. subinguinalis am empfindlichsten. Die Empfindlichkeit dieser Region war aber nur um Geringes grösser als die der R. R. dorsales digitorum pedis, wenn nämlich der im Bereiche der letztgenannten Regionen auf callöser Stelle der Zehe gefundene, sehr hohe *mx.*-Werth nicht in Betracht genommen wird.

Zwischen den medialen und den lateralen Flächen der Extremitäten lag der Unterschied darin, dass die lateralen Flächen im Allgemeinen weniger empfindlich waren als die medialen. Dieser Unterschied ist zum Theil auf die Abweichung zurückzuführen, welche der Charakter der Empfindungen je nach der Lage der Flächen zeigt. Wenn sich die Qualität der Empfindung im Allgemeinen nicht verändert (laterale Flächen), so ist das Anwachsen der Intensität irgend einer Empfindung viel weniger auffallend, als wenn die Qualität der Empfindung eine plötzliche Veränderung erleidet, welcher Fall auf den medialen Flächen beim Auftreten des Schmerzes in der Regel vorzukommen pflegt.

Wenn man die auf die medialen und auf die lateralen Flächen des Oberarmes bezüglichen Daten mit einander vergleicht, ergibt es sich, dass der Unterschied zwischen der Empfindlichkeit symmetrisch gelegener lateraler und medialer Gebietseinheiten in den meisten Fällen auf eine grössere Empfindlichkeit der medialen Fläche hinwies. Aehnlich war das Verhältniss auch auf den Ellenbeuge-Gebieten:

R. cubiti	lateralis sinistra	*m.* 47,9° C.,	*mx.* 49,1° C.,	*h.* 47,9—48,5° C.
„	„ medialis „	*m.* 47,4° C.,	*mx.* 48,2° C.,	*h.* 47,4—48,1° C.
„	„ lateralis dextra	*m.* 47,3° C.,	*mx.* 49,2° C.,	*h.* 47,6—49° C.
„	„ medialis „	*m.* 46,9° C.,	*mx.* 48° C.,	*h.* 47,3—47,6° C.

Hier waren also gleichfalls die medialen Gebietstheile empfindlicher.

Diese Abweichungen im Charakter der Empfindungen führen am Unterarm zu gut erkennbaren Unterschieden zwischen der R. ante-

brachii und den übrigen Gebieten. Auf der Beugefläche war der Charakter der Empfindungen grösstentheils derselbe wie anderswo auf den medialen Flächen. Dagegen waren die Abweichungen sowohl in dem Charakter der Empfindungen als auch in den Schwellenwerthen des *Schm.* am Unterarme viel weniger ausgeprägt als am Oberarme und in der R. cubiti.

Der Unterarm lässt sich in grösserer Ausdehnung und in weit verschiedeneren Richtungen bewegen als der Oberarm. In Folge dessen wechseln seine einzelnen Theile häufiger ihre Lage gegenüber der Hauptrichtungslinie des Rumpfes, und zugleich sind sie in grösserem Maasse, in mannigfaltigerer Beziehung und häufiger den Einwirkungen der Umgebung ausgesetzt als der Oberarm, welcher bezüglich der Lage seiner medialen und lateralen Theile zum Rumpfe weniger Abwechslung bietet und im Allgemeinen vor den Einwirkungen der Umgebung besser geschützt ist. Eben darum ist auf den bezüglich der Empfindlichkeit ein entgegengesetztes Verhalten aufweisenden Gebieten des Unterarmes zu einer Veränderung der Epidermis und zur Angewöhnung an die veränderlichen Einwirkungen der Umgebung mehr Gelegenheit geboten als am Oberarme. Unter den Gebieten des Unterarmes hat eine verhältnissmässig am besten geschützte Lage die R. antebrachii volaris; ihre Haut ist auch am dünnsten und in Folge dessen ihre Empfindlichkeit im Allgemeinen grösser als die der übrigen Regionen, wie das aus folgender Zusammenstellung ersichtlich ist:

Links:	R. antebrachii	vol.	*m.* 45,9° C.,	*mx.* 48,4° C.[1],	*h.* 46,5—48° C.
	„ „	dors.	*m.* 47,2° C.,	*mx.* 47,9° C.,	*h.* 47,3—47,7° C.
	„ „	rad.	*m.* 47,1° C.,	*mx.* 48,1° C.,	*h.* 47,3—48° C.
	„ „	uln.	*m.* 47,3° C.,	*mx.* 49,4° C.,	*h.* 47,7—49° C.
Rechts:	„ „	vol.	*m.* 47° C.,	*mx.* 48,8° C.,	*h.* 47,4—48,4° C.
	„ „	dors.	*m.* 47,8° C.,	*mx.* 49,3° C.,	*h.* 48,1—48,8° C.
	„ „	rad.	*m.* 47,8° C.,	*mx.* 49,6° C.,	*h.* 47,9—49,2° C.
	„ „	uln.	*m.* 47,8° C.,	*mx.* 49,3° C.,	*h.* 47,9—49,1° C.

Der in der Empfindlichkeit der übrigen Regionen des Unterarmes ersichtliche geringe Unterschied offenbart sich darin, dass links die R. antebrachii dorsalis empfindlicher war als die R. ulnaris, weiter-

1) Dass der *mx.*-Werth auf diesem Gebiete höher war als in der R. antebr. dors. und radialis, spricht noch nicht gegen die grössere Empfindlichkeit der R. antebr. volaris, da mit Bezug auf die durchschnittliche Empfindlichkeit in erster Linie die *h.*-Werthe von Bedeutung sind.

hin dass links die R. antebrachii ulnaris weniger empfindlich war als die R. antebrachii radialis. Rechts war in der Empfindlichkeit der R. antebrachii dorsalis und der R. ulnaris kaum ein Unterschied zu bemerken; auch war die Empfindlichkeit der R. antebrachii radialis nur um etwas geringer als die der R. antebrachii ulnaris.

An den unteren Extremitäten war das Verhältniss zwischen der Empfindlichkeit der lateralen und der medialen Flächen viel ausgeprägter. Z. B.:

R. fem. lat. sin.		*m.* 47,2° C.,	*mx.* 49,7° C.,	*h.* 47,7—48,9° C.
„ „ med. „		*m.* 46,4° C.,	*mx.* 48,4° C.,	*h.* 46,7—47,7° C.
„ „ lat. dext.		*m.* 47,5° C.,	*mx.* 49,7° C.,	*h.* 47,9—48,5° C.
„ „ med. „		*m.* 46,2° C.,	*mx.* 49° C.,	*h.* 46,7—48,1° C.

In der R. femoris posterior lag der *m.*-Werth beiderseits nahe zur medialen, der *mx.*-Werth dagegen nahe zu der lateralen Grenze der Region; in der R. femoris anterior lag der *m.*-Werth links an der medialen Grenze, während der *mx.*-Werth beiderseits an die laterale Grenze kam.

In der R. genu anterior lag der *m.*-Werth an beiden Extremitäten an der medialen Grenze, während der *mx.*-Werth rechts in die laterale Ecke der Region fiel; in der R. genu posterior dagegen lag der *mx.*-Werth beiderseits in der lateral-distalen Ecke der Region. Mit Bezug auf die Unterschenkel mögen schliesslich noch folgende Daten zur Charakterisirung dieses Verhältnisses dienen:

R. cruris lateralis sinistra	*m.* 48° C.,	*mx.* 50,8° C.,	*h.* 48—50,2° C.
„ „ medialis „	*m.* 47,4° C.,	*mx.* 49,5° C.,	*h.* 47,6—49° C.
„ „ lateralis dextra	*m.* 47,6° C.,	*mx.* 50,2° C.,	*h.* 48,1—50° C.
„ „ medialis „	*m.* 47,4° C.,	*mx.* 49,3° C.,	*h.* 47,6—48,9° C.

In der Empfindlichkeit der Beuge- und andererseits der Streckflächen der Extremitäten zeigte sich gleichfalls ein Unterschied insoweit, als z. B. an der oberen Extremität die Beugefläche empfindlicher war als die Streckseite:

R. brachii ant. sin.	*m.* 45,9° C.,	*mx.* 48,7° C.,	*h.* 46,5—48,4° C.
„ „ post. „	*m.* 47,4° C.,	*mx.* 49,3° C.,	*h.* 48,4—48,9° C.
„ „ ant. dextra	*m.* 46,9° C.,	*mx.* 48,8° C.,	*h.* 47,1—48,4° C.
„ „ post. „	*m.* 47,2° C.,	*mx.* 49° C.,	*h.* 47,6—48,9° C.
R. cubiti ant. sin.	*m.* 46,9° C.,	*mx.* 48,3° C.,	*h.* 46,7—47,4° C.
„ „ post. „	*m.* 47,3° C.,	*mx.* 51,2° C.,	*h.* 48—49,5° C.
„ „ ant. dextra	*m.* 46,7° C.,	*mx.* 48,1° C.,	*h.* 46,9—47,6° C.
„ „ post. „	*m.* 48° C.,	*mx.* 51° C.,	*h.* 48—49,4° C.

Auf den Händen waren die Handflächen und die Beugeflächen der Finger im Allgemeinen viel weniger empfindlich als der Handrücken und die dorsalen Flächen der Finger:

R. manus dors. sin.	*m.* 46,6° C.,	*mx.* 48,8° C.,	*h.* 46,8—48° C.
„ „ vol. „	*m.* 46,6° C.,	*mx.* 50,4° C.,	*h.* 46,8—50,2° C.
„ „ dors. dextra	*m.* 47,6° C.,	*mx.* 49,5° C.,	*h.* 48,2—49,2° C.
„ „ vol. „	*m.* 48,6° C.,	*mx.* 52,7° C.,	*h.* 48,9—51,7° C.
R. digit. dors. sin.	*m.* 46,5° C.,	*mx.* 48,9° C.,	*h.* 47,1—48,1° C.
„ „ vol. „	*m.* 48,2° C.,	*mx.* 54,8° C.,	*h.* 49,6—54,5° C.
„ „ dors. dextra	*m.* 46,6° C.,	*mx.* 52,1° C.,	*h.* 47,8—50° C.
„ „ vol. „	*m.* 48,9° C.,	*mx.* 53,2° C.,	*h.* 50,4—53° C.

Auf der unteren Extremität war mit Ausnahme des Fusses die Beugefläche empfindlicher als die Streckseite. In der Empfindlichkeit der beiden Flächen fanden sich rechts grössere Unterschiede als links.

R. femor. post. sinistra	*m.* 46,3° C.,	*mx.* 49,6° C.,	*h.* 47,2—48,3° C.
„ „ ant. „	*m.* 47,3° C.,	*mx.* 49,7° C.,	*h.* 47,7—49,5° C.
„ „ post. dextra	*m.* 46,6° C.,	*mx.* 48,7° C.,	*h.* 47,1—48,2° C.
„ „ ant. „	*m.* 47,3° C.,	*mx.* 52,7° C.,	*h.* 47,8—51,5° C.
R. genu post. sinistra	*m.* 46,5° C.,	*mx.* 50,2° C.,	*h.* 47—49,7° C.
„ „ ant. „	*m.* 48,6° C.,	*mx.* 51,5° C.,	*h.* 48,7—51,4° C.
„ „ post. dextra	*m.* 45,9° C.,	*mx.* 48,6° C.,	*h.* 46,6—48,3° C.
„ „ ant. „	*m.* 48,4° C.,	*mx.* 52,5° C.,	*h.* 48,8—52° C.
R. cruris post. sinistra	*m.* 47,4° C.,	*mx.* 50,6° C.,	*h.* 47,9—50° C.
„ „ ant. „	*m.* 48,5° C.,	*mx.* 52,5° C.,	*h.* 49,9—51,9° C.
„ „ post. dextra	*m.* 47,1° C.,	*mx.* 49,9° C.,	*h.* 47,7—49,3° C.
„ „ ant. „	*m.* 49° C.,	*mx.* 53,1° C.,	*h.* 49,5—52,4° C.

Bezüglich des Fussrückens und der Sohle ist das Verhältniss der Empfindlichkeit der Beuge- und der Streckseite ein anderes, je nachdem man das Fussgewölbe oder andere mit dickerer Epidermis bekleidete Gebietstheile der Sohle dem Fussrücken gegenüberstellt. An der feineren Haut des Fussgewölbes waren auch empfindlichere Gebietseinheiten zu finden als am Fussrücken, wie das auch in folgender, auf den rechten Fuss bezüglicher Zusammenstellung das Abweichen der *m.*-Werthe und der niedrigeren *h.*-Werthe beweist:

R. dors. pedis dextra	*m.* 47° C.,	*mx.* 52,8° C.,	*h.* 47,6—49,6° C.
R. plant. „ „	*m.* 46.2° C.,	*mx.* 80° C.,	*h.* 47,5—65,6° C.

Die *mx.*-Werthe sprechen für die geringere Empfindlichkeit der Sohle. Dasselbe ergibt sich auch aus allen auf die entsprechenden Gebiete des linken Fusses bezüglichen Daten:

R. dors. pedis sin.	*m.* 47,3° C.,	*mx.* 50° C.,	*h.* 47,6—49,4° C.
„ plant. „ „	*m.* 48,4° C.,	*mx.* 68,8° C.,	*h.* 49,2—66,3° C.

Um die verschiedene Empfindlichkeit der einzelnen Hautgebiete beurteilen und den Grund der Abweichungen bestimmen zu können, muss man verschiedene Umstände in Betracht ziehen. Der verschiedene Grad der Empfindlichkeit irgend einer Gebietseinheit im Vergleiche zu der einer anderen kann — abgesehen von den bei der Besprechung der Versuchsfehler erwähnten modificirenden Einflüssen — eine Folge der spärlicheren Innervation oder aber der abweichenden Qualität der Epidermis, eventuell beider dieser Umstände sein.

An weit von einander oder entgegengesetzt gelegenen Gebieten kommt noch der Grad der Angewöhnung an Temperaturschwankungen, d. h. der Grad der Abhärtung der Haut, in Betracht. Mit der letzteren geht übrigens in den meisten Fällen eine Modificirung der Epidermis einher. Die Abweichungen in der Empfindlichkeit nahe zu einander gelegener Gebiete sind bei Uebereinstimmung der Versuchsbedingungen und bei gleicher Entwicklung der Hornschicht auf Abweichungen in der Innervation zurückzuführen.

Der Einfluss der Innervation ist jedoch schwerer abzuschätzen, wenn die Haut der verschiedenen Stellen eine verschiedene Dicke besitzt. In solchen Fällen kann man, da die Grenzen des Innervationsgebietes der einzelnen sensiblen Nerven, wegen der individuellen Abweichungen, an lebenden Personen kaum genau festzustellen sind, — oft nicht entscheiden, inwieweit der eine oder der andere Factor den Unterschied in der Empfindlichkeit bedingt. Die Haut des Antithenars ist z. B. weniger empfindlich als die Haut der Handfläche oberhalb des II. Mittelhandknochens, wo die Haut dünner und die Hornschicht weniger entwickelt ist. In dem Gebiete des ulnaren Randes der volaren Fläche der Hand liegt indessen auch eine Innervationslücke, und zwar zwischen den Aesten des Ramus cut. palm. n. mediani, des R. cut. n. ulnaris und des R. dorsalis n. ulnaris, so dass die erwähnten beiden Umstände, nämlich die Innervationslücke und die grössere Dicke der Hornschicht, hier in gleichem Maasse zu dem Ansteigen der Reizschwelle beitragen.

Wir müssen den Grad der Empfindlichkeit irgend eines Gebietes so annehmen, wie derselbe von den physiologischen modificirenden Einflüssen bestimmt und uns geoffenbart wird. Wenn auf

irgend einem Gebiete die Innervation zwar reichlich, die Haut aber dick ist, so wird jene Empfindlichkeit, welche wir bei einfacher Untersuchung thatsächlich finden, nicht identisch sein mit der, welche der Innervation überhaupt entsprechen müsste. In solchen Fällen könnten wir der dem Reichthum der Innervation thatsächlich entsprechenden Empfindlichkeit nur dann gewahr werden, wenn wir an der untersuchten Stelle von der Haut und insbesondere von dem grössten Leitungswiderstande, der Hornschicht, entsprechende Massen abtragen würden. Wenn wir das nicht thun — und thatsächlich wird dieses Verfahren unter gewöhnlichen Verhältnissen bei aus praktischem Standpunkte ausgeführten Versuchen nicht in Anwendung kommen —, können wir nur das untersuchen, in welcher Weise das betreffende Gebiet im Ganzen sammt seinem Schutzapparate auf in üblicher Weise angebrachte Temperaturreize reagirt.

Mitunter erhalten wir auch auf Gebieten mit sehr dicker Epidermis, wie z. B. an der Sohle, sehr intensive Empfindungen. Da jedoch die Leitung eine Verzögerung erleidet, ist zur Entwicklung dieser intensiven Empfindung eine längere Frist nothwendig als bei besserer Leitung. In Folge dessen tritt die Reaction auf die thermische Reizung später ein, — die untersuchte Stelle erscheint thermisch weniger empfindlich als irgend eine andere, welche zwar in ähnlichem Maasse mit Nerven versehen, aber von einer dünneren Hornschicht bedeckt ist. Die Verzögerung der Reaction wird übrigens auch durch die schon besprochene Adaptation bedingt.

Die Verzögerung in dem Auftreten der Empfindung ist auch dann auffallend, wenn wir einen intensiveren Reiz anwenden, als es der Reichthum der Innervation nöthig macht. An der Sohle erhielt ich z. B. in der Nähe der grossen Zehe auf einer etwas callösen Hautstelle den *Schm.* bei 58° C. resp. bei 61,7° C., und zwar bei einer *St.-G.* von 5 resp. 4 Sec. Bei einer solchen, mit Rücksicht auf die Bedingungen der Wärmeleitung allzu raschen Steigerung der Temperatur zeigte das Thermometer offenbar einen höheren Grad an, als welche Wärme-Intensität zur Reizung des Nervenapparates thatsächlich diente. Als ich dieselbe Stelle bei einer anderen Gelegenheit mit einer constanten Temperatur von 61° C. reizte, trat der *Schm.* nach 15 Sec. ein. Andere, diesen ähnliche Versuche ergaben vollständig analoge Resultate.

Goldscheider[1]) wies darauf hin, dass die Empfindlichkeit an

1) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 167.

den Augenlidern sehr gross, am Penis dagegen sehr gering ist, trotzdem beide Stellen eine sehr dünne Haut besitzen. Nach meinen Untersuchungen entsprach die durchschnittliche Empfindlichkeit des linken Augenlides einem *Schm.*-Schwellenwerthe von 46,3 ° C., die des rechten einem solchen 47,1 ° C. Die durchschnittliche Empfindlichkeit der Haut des Penis lag dagegen bei 45,2° C. Die zwischen den *m.*- und *mx.*-Werthen gefundenen Unterschiede sprechen ebenfalls dafür, dass in meinem Falle das Verhältniss zwischen der Empfindlichkeit der Haut der Augenlider und der des Penis gerade das umgekehrte dessen war, welches Goldscheider fand.

An der Streckseite der Extremitäten ist die Haut dicker als an den Beugeflächen, an den lateralen dicker als an den medialen Flächen. Diesen Unterschieden in der Dicke der Hornhaut entsprechen die bezüglich der Empfindlichkeit sich ergebenden Abweichungen vollkommen, insoweit man nämlich nicht behaupten kann, dass in der Innervation der betreffenden Gebiete wesentliche anatomische Unterschiede vorhanden wären. Am Oberschenkel z. B. bestehen in der Innervation der Beuge- und der Streckseite, der lateralen und der medialen Flächen keine solchen Unterschiede, welche die auffällige, auf die wahrscheinliche Grösse der Innervationslücken weit übertreffende Gebiete sich ausbreitende Abweichung der Empfindlichkeit in genügendem Maasse erklären würden. Die R. femor. lateralis wird durch den N. cutan. fem. ant. ext., die R. femor. ant. durch denselben Nerven und durch den N. cut. fem. med. wohl kaum weniger reichlich mit sensiblen Aesten versehen als die R. femor. post. und medialis, theilweise ebenfalls durch den N. cutan. fem. med., weiterhin durch den N. cut. fem. internus und posticus. Aus diesem Grunde muss man die auf diesen Gebieten vorfindlichen Unterschiede der Empfindlichkeit auf die verschiedene Qualität der Epidermis zurückführen, und zwar um so mehr, als am Oberschenkel Anpassung und Gewöhnung wegen der Kleidung nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Die in der Empfindlichkeit der Beuge- und der Streckseite des Armes beobachteten Unterschiede sind aller Wahrscheinlichkeit nach auf ähnliche Gründe zurückzuführen.

Unter den die Empfindlichkeitsunterschiede der vorderen und der medialen Flächen des Unterschenkels bedingenden Ursachen hat offenbar auch der Umstand eine gewisse Bedeutuug, dass die das Schienbein bedeckende Haut, wie im Allgemeinen alle Hauttheile,

welche unmittelbar auf grösseren Knochenflächen aufliegen, ärmer an Gefässen und Nerven ist als die Umgebung (Goldscheider).

Ohne Zweifel bestimmt in erster Linie die Innervation den Grad der gleichsam reinen, idealen, theoretischen Empfindlichkeit irgend einer Hautfläche. Die Abweichungen in der Dicke der Hornschicht, die Uebung und Angewöhnung bestimmen hinwiederum mit ihrer speciell modificirenden Einwirkung die vom praktischen Gesichtspunkte zuerst in die Augen springende Schärfe der Empfindlichkeit. An solchen modificirenden Einflüssen ausgesetzten Hautgebieten können wir mittelst in üblicher Art angewendeter Temperaturreize von der idealen Empfindlichkeit kein richtiges Bild erhalten.

Der Einfluss der Epidermis tritt stets hauptsächlich dort in den Vordergrund, wo die Hornschicht besser entwickelt ist. Die Handfläche z. B. zeigt dort, wo die Haut, den Furchen entsprechend, glatt, glänzend und dünn ist, zugleich auch eine grössere Empfindlichkeit. An der volaren Fläche der Finger wird in Folge der Unterschiede in der Dicke der Hornschicht das gegen die Fingerballen hin stufenweise fortschreitende Sinken der Empfindlichkeit ab und zu durch einige niedrigere Reizschwellen-Werthe unterbrochen. An der dorsalen Fläche dagegen kann man auf der die Gelenke bedeckenden faltigen, dicken Haut Flecken begegnen, welche eine stumpfere Empfindlichkeit aufweisen als die selbst noch distaler gelegene Umgebung. Am empfindlichsten ist an der Streckseite der Finger die die Nagelwurzel bedeckende feine Haut.

Auch an den lateralen Flächen der Finger sind die mehr verborgenen und mit dünner Haut bedeckten Gebiete empfindlicher. Am linken Zeigefinger z. B. fand ich an der von einer dicken Hornschicht bedeckten radialen Fläche die *Schm.*-Schwellenwerthe bei 50,5 — 50,3 — 51,1 — 51,5 — 52,8 — 53,1 — 52,9° C., während an der von dünner Haut bedeckten ulnaren Fläche diese Werthe zwischen 47,6 und 49° C. schwankten.

An der Sohle kann man selbst an nahe zu einander gelegenen Stellen aus ähnlichen Gründen auf sehr grosse Abweichungen stossen. An der dünnen Haut des Fussgewölbes verursachten z. B. Temperaturen von 46,2 und 47,5° C. schon Schmerz, während um eine Gebietseinheit weiter gegen die Ferse oder den äusseren Rand des Fusses hin, wo die Haut noch nicht callös, aber deren Hornschicht doch dicker ist, der Schmerz erst bei 49,7 — 50,5 — 51,8° C. auftrat.

Die Sohle fand ich eigentlich ziemlich empfindlich, wie das auch das Diagramm Nr. 1 auf Taf. VI zeigt. Ihre Empfindlichkeit kann jedoch an von einer dickeren Hornschicht bedeckten Gebieten, wo der Nervenapparat durch die Hornschicht, als gewissermaassen fremde Masse, geschützt wird, — bei Anwendung von gewöhnlichen Wärmereizen nicht genügend zur Geltung kommen.

Der Einfluss der Epidermis könnte in Zahlenwerthen zweifellos in entsprechendster Weise auf die Art ausgedrückt werden, dass man nebst Feststellung der Zahl und „Intensität" der Temperaturpunkte eines gewissen Gebietes, welche zugleich auch zur Erkennung der reinen, idealen, von der specifischen Innervation des Gebietes abhängigen Empfindlichkeit führt, — weiterhin noch die Dicke der Hornschicht und der Epidermis überhaupt genau bestimmen würde. Bei ziemlicher Uebereinstimmung der Zahl und „Intensität" der Temperaturpunkte, und wenn die im III. Capitel besprochenen Versuchsfehler ausgeschlossen sind, kann die Abweichung in den auf Gebieten mit verschieden dicker Epidermis gewonnenen Werthen am besten eine Orientirung dafür abgeben, inwieweit die Dicke der Epidermis die ideale Empfindlichkeit zu modificiren im Stande ist. Auf derartige vergleichende Versuche konnte ich mich äusserer Ursachen wegen nicht weiter einlassen.

Die Dimensionen der bei meinen Versuchen zur Eintheilung der Körperregionen benutzten Quadrate sind zu gross, als dass man auf den Photogrammen die Innervationslücken überall leicht finden und genau abgrenzen könnte. Die Eintheilung der Hautfläche geschah auch nicht mit Rücksicht auf dieselben, denn dies liesse sich schon wegen der individuellen Abweichungen der Innervation sowieso nicht in jedem Falle in entsprechender Weise durchführen. Es ist selbstverständlich, dass bei einer mit Bezug auf Dimension und Gruppirung der Gebietseinheiten von der von mir befolgten abweichenden Eintheilung der Körperregionen auch die topographischen Bilder gewisse, wenn auch nicht wesentliche Unterschiede aufweisen werden.

Uebrigens lassen sich auch bei meiner mit relativ grossen Gebietseinheiten arbeitenden Eintheilung hier und da Innervationslücken erkennen. Auf solche weisen an Stellen, wo eine Veränderung der Haut auszuschliessen ist, jene in sensiblen Gebieten verstreuten Flecken hin, welche in Folge ihrer der Umgebung gegenüber geringeren Empfindlichkeit scharf abgegrenzt werden können. Solche Stellen sind wahrscheinkeit z. B. die verhältnissmässig wenig empfindlichen Streifen an der Stirn,

zwischen den Innervationsgebieten des N. temporofrontalis und frontalis, am medialen Ende der linken Augenbraue, weiterhin die der rechten R. buccalis und die am Nasenflügel zwischen den Innervationsgebieten des N. nasalis externus und N. infraorbitalis verbleibende Fläche, sowie auch der zwischen die Innervationsgebiete der beiderseitigen N. N. nasales ext. eingezwängte Fleck. Die Abweichung der Empfindlichkeit der R. inframammales von der der Umgebung kann vielleicht ebenfalls auf Innervationslücken beruhen; dagegen kann z. B. bezüglich der Lippen eher von einem Einflusse der Angewöhnung die Rede sein.

In der Mittellinie tritt die Rolle der Innervationslücken nicht überall hervor, obgleich wir auf Grund der anatomischen Daten mit ziemlicher Sicherheit darauf schliessen können, dass die Innervation in der Mittellinie spärlicher ist als an seitlicher gelegenen Gebieten. In Folge dessen: wenn wir auf einer die übliche Grösse der Innervationslücken überschreitenden Stelle eines seitlich gelegenen Gebietes einer stumpferen Empfindlichkeit begegnen als in der Mittellinie, so kann das wohl auch auf einen Einfluss der Epidermis deuten, wie dies z. B. an der von dünner Haut bedeckten R. sacralis, gegenüber der von dickerer Haut bedeckten R. glutaea, der Fall sein kann.

In der Mittellinie zeigt sich die auf Innervationslücken zurückführbare geringere Empfindlichkeit an einigen Stellen des mittleren Drittels des Rückens, weiterhin in Epigastrium und Hypogastrium und einigermaassen auch noch am Brustbein, in grösserer Ausdehnung. Anderswo gestatten die in die Mittellinie fallenden empfindlicheren Flecken es nicht, dass man die gleichfalls in der Mittellinie vorfindlichen weniger empfindlichen Stellen als Innervationslücken auffasse.

Wenn man die im Capitel IV vorgeführte topographische Zusammenstellung mit jener vergleicht, welche Goldscheider[1]) mit Bezug auf die Wärme-Empfindlichkeit, ebenfalls auf Grund von bei einer Person (bei sich selbst) gewonnenen Daten, tabellarisch ausarbeitete, so findet man gewisse Unterschiede, von welchen einige erwähnenswerth erscheinen. Nach Goldscheider ist die Brust weniger empfindlich als das Abdomen; in meinem Falle war das Verhältniss, wie es sich auch aus den Abbildungen ergibt, gerade ein umgekehrtes. Ueberhaupt schien das Abdomen, von den seitlichen Gebieten desselben abgesehen, nicht so empfindlich zu sein, wie es

1) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 168—171.

Goldscheider angibt. Der Rücken zeigte dagegen im Allgemeinen eine schärfere Empfindlichkeit als das Abdomen. Den nach Goldscheider als Zeichen der stumpferen Empfindlichkeit an der Seite des Rumpfes sich entlang ziehenden Streif habe ich nicht vorgefunden.

In meinem Falle waren die R. R. glutaeae in der Nähe der Mittellinie am wenigsten empfindlich. Auch am Oberarme zeigte sich das Verhältniss zwischen der Empfindlichkeit der einzelnen Regionen anders als bei Goldscheider. Nach ihm ist am Oberarme die laterale Fläche die empfindlichste; ich fand an derselben eine verhältnissmässig stumpfere Empfindlichkeit als an der vorderen und an der medialen Fläche. Nach Goldscheider ist die Empfindlichkeit der Beuge- und der Streckseite des Unterarmes geringer als die der ulnaren und der radialen Fläche; bei mir zeigte die Beugefläche des Unterarmes resp. die R. antebr. volaris eine grössere Empfindlichkeit als die übrigen Flächen. Am Handrücken fand ich die proximale Hälfte nicht weniger empfindlich als die distale. Nach Goldscheider ist der ulnare und der radiale Rand der Handfläche empfindlicher als die] rein dorsale Fläche; bei meinen Versuchen erschien besonders der ulnare Rand im Durchschnitte weniger empfindlich als die Streckseite. An den Oberschenkeln bietet die Topographie Goldscheider's im Wesentlichen ein ähnliches Bild wie die meinige. Dagegen fand ich am Unterschenkel die Empfindlichkeit der Waden von der anderer Gebiete wesentlicher abweichend als Goldscheider.

Nach Goldscheider ist das Olecranon gegen Wärme unempfindlich. Ich fand, dass am Olecranon eine Temperatur von 47,2° C. und 48,2° C. eine ausgesprochene *W.-E.* auslöste, und dass der *Schm.* zwischen 48,7 und 49,7° C. auftrat. Man könnte das Olecranon nur in dem Falle unempfindlich nennen, wenn auf demselben eine Wärme-Empfindung überhaupt nicht auszulösen wäre, oder wenn ein Wärmereiz von steigender Intensität nur zu einer Schmerzempfindung führen würde, ohne dass eine Wärme-Empfindung vorangegangen wäre. Im letzteren Falle könnte man darauf schliessen, dass an dieser Stelle keine specifische Innervation, also auch keine Wärme-Empfindlichkeit vorhanden sei. Zum Entstehen von Schmerzempfindungen nach sehr intensiven Wärmereizen ist auch auf Grund der rein sensiblen Innervation die Möglichkeit geboten, da hohe Temperaturen als allgemeine Nervenreize die sensiblen Nerven reizen können,

ohne dass eine specifische Empfindung entstehen müsste. Auch an der Patella, welche nach Goldscheider ebenfalls nahezu unempfindlich ist, erhielt ich gut ausgeprägte Wärme-Empfindungen.

Nach Goldscheider sind die empfindlichsten Stellen der gesammten Körperoberfläche die Brustwarze und die Augenlider. Bei meinen Versuchen fiel der niedrigste *Schm.*-Schwellenwerth nicht auf diese Gebiete, sondern auf die R. lumbalis (links 41,4 ° C., rechts 42,7 ° C.). Weiterhin erschienen, gleichfalls auf Grund des *m.*-Werthes, als sehr empfindliche Gebiete noch die R. infrascapularis sin. (42,7 ° C.), die R. infraclavicularis dextra (42,7 ° C.), die R. pudendalis (42,8 ° C. am Hodensack), die R. infrascapularis dextra (43 ° C.), die R. perinealis (43,7 ° C.), die R. sacralis (44,1 ° C.), die R. mammalis dextra 44,1 ° C.), die R. pectoris lat. sin. (44,4 ° C.), die R. mammalis sin. (44,6 ° C.), die R. buccalis sin. (45,3 ° C.), die R. orbitalis sin. (45,4 ° C. am äusseren Augenwinkel), die R. infraorbitalis dextra (45,7 ° C.), und die R. orbitalis dextra (45,7 ° C.).

An der Brustwarze fand ich die Schwellenwerthe rechts bei 43,7 ° C., links bei 46,3 ° C., am oberen Augenlide links bei 46,3 ° C., rechts bei 47,1 ° C.; es waren also die Brustwarze und die Augenlider, mit Ausnahme der rechten Brustwarze, bei meinen Versuchen nicht als die empfindlichsten Gebiete anzusprechen.

Auf der ganzen Körperoberfläche ist nach Goldscheider die Haut des Scheitels am wenigsten empfindlich. Ich erhielt in der R. parietalis und occipitalis wohl auch ziemlich hohe Schwellenwerthe (52,7 ° C. resp. 53,5 ° C.), aber andererseits stiess ich auf anderen Gebieten auch auf eine geringere Empfindlichkeit, wie das aus folgenden *mx.*-Werthen hervorgeht: R. plantaris pedis dextra (50,7—80 ° C. callus), R. plant. ped. sin. (51,3—68 ° C. callus), R. calcanea sin. (58,4 ° C.), dextra (60,7 ° C. callus), R. auricularis sin. hinten, oben, rechts: 56,7 ° C., links 58 ° C. R. R. volares digit. manus sin. (54,8 ° C.) u. s. w.

Wenn man die auf den harten, callösen Hautgebieten der Sohle und deren Rändern gewonnenen Daten ausser Acht lässt, so zeigte bei meinen Versuchen die R. auricularis die geringste Empfindlichkeit.

Der auf diesem Gebiete beobachtete *mx.*-Werth (links 58 ° C.) lässt den höchsten Schmerz-Schwellenwerth Donáth's[1]) weit zurück.

1) l. c.

Hingegen fand ich nirgends einen so niedrigen Schmerz-Schwellenwerth wie Donáth (36,3° C.).

Ein Ueberblick von der Ausbreitung resp. von den territorialen Werthen der verschiedenen Stufen der Wärme-Empfindlichkeit auf der Körperoberfläche ist zu erhalten, wenn man berechnet, wie viel Hunderttheile der ganzen durchgeprüften Körperoberfläche die den einzelnen Abstufungen entsprechenden Gebietstheile einnehmen. Mit Benutzung der bei den auf Taf. II—IV vorgeführten Bildern verwendeten Stufenbezeichnungen fand ich, dass von der gesammten Körperoberfläche

auf	die	mit	44°	C.	bezeichnete	Stufe	1,5 %
„	„	„	45°	„	„	„	2,5 %
„	„	„	46°	„	„	„	6 %
„	„	„	47°	„	„	„	28 %
„	„	„	48°	„	„	„	34 %
„	„	„	49°	„	„	„	15 %
„	„	„	50°	„	„	„	5 %
„	„	„	51°	„	„	„	4 %
„	„	„	52°	„	„	„	4 % fallen.

Die grösste Ausbreitung zeigten also die Empfindlichkeitsstufen von 47° und 48° C., welche insgesammt auf nahezu zwei Welttheilen der ganzen Körperoberfläche vorzufinden sind.

VI. Zusammenfassung.

Mit Berücksichtigung der im III. Capitel besprochenen Versuchsfehler können die Resultate meiner an einer Person (an mir selbst) ausgeführten Versuche kurz in Folgendem zusammengefasst werden:

1. Die Wärme-Empfindlichkeit der beiden Körperhälften ist nicht die gleiche. Die grössere durchschnittliche Empfindlichkeit der linken Seite kann nur auf Grund des Mittelwerthes von auf sehr zahlreichen Gebieten gewonnenen Daten angenommen werden.

2. Die an der Mittellinie gelegenen Gebiete des Rumpfes sind im Allgemeinen gegen Wärme weniger empfindlich als die lateralen Flächen.

3. Der Rumpf ist im Allgemeinen gegen Wärme empfindlicher als die Extremitäten.

4. Die Wärme-Empfindlichkeit sinkt an den Extremitäten, gegen die distalen Theile hin schreitend, nicht stufenweise und regelmässig. Es können an den Extremitäten auch distal gelegene Gebiete empfindlicher sein als proximal gelegene.

5. Die lateralen Flächen der Extremitäten sind gegen Wärme weniger empfindlich als die medial gelegenen Gebiete derselben.

6. Die reine, ideale Wärme-Empfindlichkeit hängt einzig und allein von dem Reichthum der Innervation ab. Der Grad der vom praktischen Standpunkte in erster Linie in die Augen fallenden Empfindlichkeit wird durch die verschiedene Dicke der Hornschicht und überhaupt der Epidermis, weiterhin durch die Angewöhnung und die Uebung bestimmt. Bei den praktischen Verhältnissen entsprechenden, unter natürlichen Bedingungen ausgeführten Versuchen kann der Grad der idealen Wärme-Empfindlichkeit eben in Folge des verschiedenartigen Widerstandes der Hornschicht und in Folge der übrigen modificirenden Einflüsse (Angewöhnung, Uebung) nicht klar erkannt werden.

Erklärung der Tafeln.

Tafel I.

Die Curve Nr. 1 stellt die Wirkung der Adaptation (S. 18) und auch der Nachempfindungen dar und führt die Schwankungen der Reiz-Schwellenwerthe vor, welche auf einem 10 cm oralwärts vom Nabel gelegenen Gebiete bei in rascher Aufeinanderfolge, mit möglichst kurzen und gleichen Unterbrechungen innerhalb von 50 Minuten ausgeführten 65 Versuchen gewonnen wurden. Die obere, volle Linie entspricht den Reiz-Schwellenwerthen des Wärmeschmerzes, die untere, punktirte Linie dagegen den Schwellenwerthen der einfachen Wärme-Empfindung. Die Zahlen über der Curve geben an, zu dem wievielten der auf einander folgenden Versuche die einzelnen Schwellenwerthe gehören.

Die erste Hälfte der Curve Nr. 2 stellt, mit ähnlichen Bezeichnungen, die bei auf der R. carpi dorsalis dextra gleichfalls in rascher Aufeinanderfolge ausgeführten 52 Versuchen gewonnenen Werthe dar.

Die zweite Hälfte derselben Curve führt die Wirkung der Nachempfindungen vor und enthält die bei auf derselben Stelle 10 Minuten nach der ersten Ver-

suchsreihe auf's Neue rasch hintereinander ausgeführten 12 Versuchen gewonnenen Werthe.

Die Curven sind von links nach rechts zu lesen.

Tafel II.

Das Photogramm, welches die Vertheilung der einzelnen Abstufungen der Wärme-Schmerzempfindlichkeit auf der vorderen Fläche des Körpers darstellt, ist die Reproduction der photographischen Aufnahme einer Abbildung, welche auf die Weise verfertigt wurde, dass das Bild der vorderen Körperoberfläche in natürlicher Grösse auf Papier aufgezeichnet, in diese Zeichnung dann die den bei den Versuchen verwendeten Gebietseinheiten, der Eintheilung und der Lage nach, streng entsprechenden Quadrate eingetragen und mit Tuschelösungen von bekannter Concentration gleichmässig übermalt wurden. (Siehe S. 62—64.) Die ausführlichere Erklärung der Tonus-Stufenreihe ist auf S. 63 zu finden.

Tafel III.

Die Abbildung stellt die Vertheilung der einzelnen Stufen der Wärme-Schmerzempfindlichkeit auf der hinteren Fläche des Körpers dar.

Tafel IV.

Die Abbildungen zeigen die Vertheilung der einzelnen Stufen der Wärme-Schmerzempfindlichkeit an den Seitenflächen des Kopfes und des Halses, an den Sohlen und an dem Mittelfleische.

Tafel V und VI.

Die Tafel V stellt die Veränderungen der Wärme-Schmerzempfindlichkeit an den oberen Extremitäten, von den proximalen Theilen gegen die distalen hin schreitend, dar. Tafel VI zeigt dasselbe mit Bezug auf die unteren Extremitäten. (Siehe S. 69 u. ff.) Auf beiden Tafeln bezieht sich die Curve Nr. 1 auf die Beuge-, die Curve Nr. 2 auf die Streckseite der betreffenden Extremität. Bei jeder Curve entspricht die oberste Linie den auf dem betreffenden Gebiete überhaupt gefundenen höchsten Schwellenwerthen, die zweite Linie dem höchsten der auf dem betreffenden Gebiete am häufigsten beobachteten Schwellenwerthe, die dritte Linie dem kleinsten derselben und die unterste Linie schliesslich den auf dem betreffenden Gebiete überhaupt beobachteten niedrigsten Schwellenwerthen.

Die Bezeichnungen über den von links nach rechts zu lesenden Curven zeigen an, zu welchen Gebieten die einzelnen Schwellenwerthe gehören.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock.)

Die Reizleitung im Säugethierherzen.

Von

Franz Schlüter.

(Mit 13 Textfiguren.)

Die Untersuchungen, über welche die nachfolgenden Mittheilungen berichten sollen, sind ausgeführt worden, um festzustellen, welche Richtung der Erregungsvorgang im schlagenden Warmblüterherzen nimmt, und mit welcher Geschwindigkeit er sich fortpflanzt.

Bekanntlich gehen in Bezug auf den erstgenannten Punkt die Ergebnisse der wenigen bisher vorliegenden Arbeiten auseinander. Fredericq (1) fand, dass bei jeder Kammersystole des Hundeherzens die Herzspitze negativ wird und dies während des grössten Teiles der Systole bleibt. Waller und Reid (2) sahen am ausgeschnittenen, allmählich absterbenden Säugethierherzen in der ersten Zeit einen einphasischen Actionsstrom, der sowohl von der Basis als von der Spitze seinen Ursprung nehmen konnte, so dass auf eine wahrscheinlich gleichzeitige Erregung aller Ventrikelstellen geschlossen werden musste. In einer späteren Abhandlung theilt Waller (3) mit, dass beim Menschen ein doppelphasischer Strom vorhanden sei, und hier stets die Herzspitze zuerst negativ werde. Andere Ergebnisse erhielten Bayliss und Starling (4). Nach ihnen schreitet beim Säugethierherzen ebenso, wie dies beim Kaltblüterherzen der Fall ist, normaler Weise bei jeder Kammersystole die Negativitätswelle von der Basis zur Spitze fort. Jede Schädigung des Herzens aber, sei sie mechanisch oder thermisch hervorgerufen, bewirke eine Veränderung dieses Verhaltens, so dass es ihnen nur beim Hundeherzen und bei sorgfältiger Vermeidung aller schädigenden Einflüsse gelang, den normalen Ablauf zu studieren.

Bei dieser Sachlage schien mir eine erneute Prüfung des elektrischen Verhaltens des Säugethierherzens nicht überflüssig, und ich

bin desshalb der Aufforderung des Herrn Prof. Langendorff, eine solche zu unternehmen, gern gefolgt[1]).

Die bisherigen Untersuchungen waren zumeist mittelst Bussole und Rheotom oder vermittelst des Kapillarelektrometers angestellt worden. Ich habe mich nach dem Vorschlage des Herrn Prof. Langendorff des stromprüfenden Nervmuskelpräparates bedient. Die von Kölliker und Müller (5) im Jahre 1856 zuerst beschriebenen secundären Zuckungen von Froschmuskeln, deren Nerv mit einem schlagenden Herzen in Berührung gebracht wird, haben schon mehrfach zum Ausgangspunkt für Untersuchungen von Warmblüterherzen gedient. Ich erinnere an die Arbeiten von Donders (6), Nuël (7), Marey (8). Die Ueberlegung, von der meine Versuche ausgingen, war folgende:

Brückt man über den linken oder rechten Ventrikel eines pulsirenden Säugethierherzens die mit ihren Wadenmuskeln zusammenhängenden beiden Nn. ischiadici eines Frosches, so sieht man die beiden Muskeln bei jeder Kammersystole eine Zuckung ausführen. Befindet sich der eine Nerv — sie seien beide quer über das Herz gelegt — näher der Spitze, der andere näher der Basis, so wird, wenn die secundären Zuckungen ihren Ursprung dem Actionsstrom verdanken, ein zeitlicher Unterschied in den beiden Zuckungen vorhanden sein, vorausgesetzt, dass der Actionsstrom wellenartig durch den Herzmuskel sich fortpflanzt. Schreitet, wie Bayliss und Starling auch für das Säugethierherz angegeben, die Negativitätswelle von der Basis zur Spitze fort, so wird das der Basis nähere Präparat frühere Zuckungen ausführen als das entferntere; bei umgekehrtem Verlauf (Waller) wird das Entgegengesetzte der Fall sein. Aus dem zeitlichen Abstand beider Zuckungen wird man die Fortpflanzung der Negativität durch den Herzmuskel, die Geschwindigkeit der Erregungsleitung in ihm messen können.

Versuchsanordnung.

Schon bei seinen ersten Versuchen über künstliche Durchströmung des Säugethierherzenz hatte Langendorff (9) gesehen, dass das überlebende und ernährte Herz der Katze kräftige secun-

1) Eine erste Mittheilung über diese Versuche hat Langendorff (11) in der naturforschenden Gesellschaft zu Rostock, eine andere beim internationalen Physiologencongress in Turin am 18. Sept. 1901 gemacht (s. Arch. ital. de Biologie t. 36 p. 51).

däre Zuckungen in einem damit verbundenen Nervmuskelpräparat erregt. Ich habe mich desshalb des nach dem Langendorff'schen Verfahren durchbluteten Herzens, das leicht in gewünschter Weise orientirt werden konnte, zu meinen Versuchen bedient. Es wurde dazu ein neuer Durchströmungsapparat benutzt, der in den letzten Jahren im Rostocker physiologischen Institut mehrfach zur Verwendung gekommen ist und sich bewährt hat. (Vorgezeigt in der Sitzung der naturforschenden Gesellschaft in Rostock am 10. Oct. 1899 [10]). Auf die sehr einfache Construction desselben soll hier nicht eingegangen werden, da er von anderer Seite noch beschrieben werden wird.

Für meine Versuche bot er den Vortheil, dass das an der „Anschlusskanüle" befestigte Herz auf einer schräg gestellten Glasplatte bequem so gelagert werden konnte, dass das Coronarvenenblut ohne die Ventrikeloberfläche zu benetzen abfloss, und dass die linke Kammer in grösserer Ausdehnung freilag.

Auf die Umgebung des Herzens mit einer Wärmekammer wurde meistens verzichtet, doch konnte die Temperatur des Herzens durch passende Regulirung des speisenden Blutstromes auf geeigneter Höhe gehalten werden. Wiederholt wurde, um jede Austrocknung zu vermeiden, im Laufe eines Versuches die Herzoberfläche mit warmer Kochsalzlösung berieselt.

In Fig. 1 ist die Versuchsanordnung wiedergegeben. *H* ist das Herz, das auf der schrägen Glasplatte *G* so ruht, dass das aus dem rechten Vorhofe ausfliessende Blut abtropfen kann. *A* ist die Anschlusskanüle, durch *s* mit der Blutflasche und durch die passend abgebogene Glasröhre *r* mit der Aorta des Herzens verbunden. Ein in einen konischen Stöpsel eingelassenes Thermometer *t* dient zur Messung der Temperatur des Blutes, kurz bevor es das Herz durchströmt. Die Nerven der beiden Muskeln *M* liegen auf der Oberfläche des Herzens. (Meistens wurden sie parallel zu einander in einem Abstande von 2 cm orientirt.) Die Schenkelknochen sind von unten her mit dem Muskelklemmenpaar *K* gefasst. Die beiden Sehnen stehen durch Metallhäkchen in Verbindung mit den beiden kurzen Armen eines Engelmann'schen Doppelschreibhebels (*D*). Zwei Stellschräubchen (*s*) erlauben die feinere Einstellung der beiden Aluminiumschreibspitzen gegen den Registrircylinder. Die Belastung der Muskeln war sehr gering, die Vergrösserung betrug 8 bis 10 oder mehr. Der mit berusstem Papier überzogene Cylinder hatte möglichst schnellen Gang und selbstthätige Senkung. Unter den Muskelschreibern zeichnete

eine automatische Stimmgabel von 100 v. d. die Zeit. Bei dem schnellen Gange der Trommel war es meist möglich, noch Achtel oder Zehntel der Stimmgabelschwingungen abzulesen.

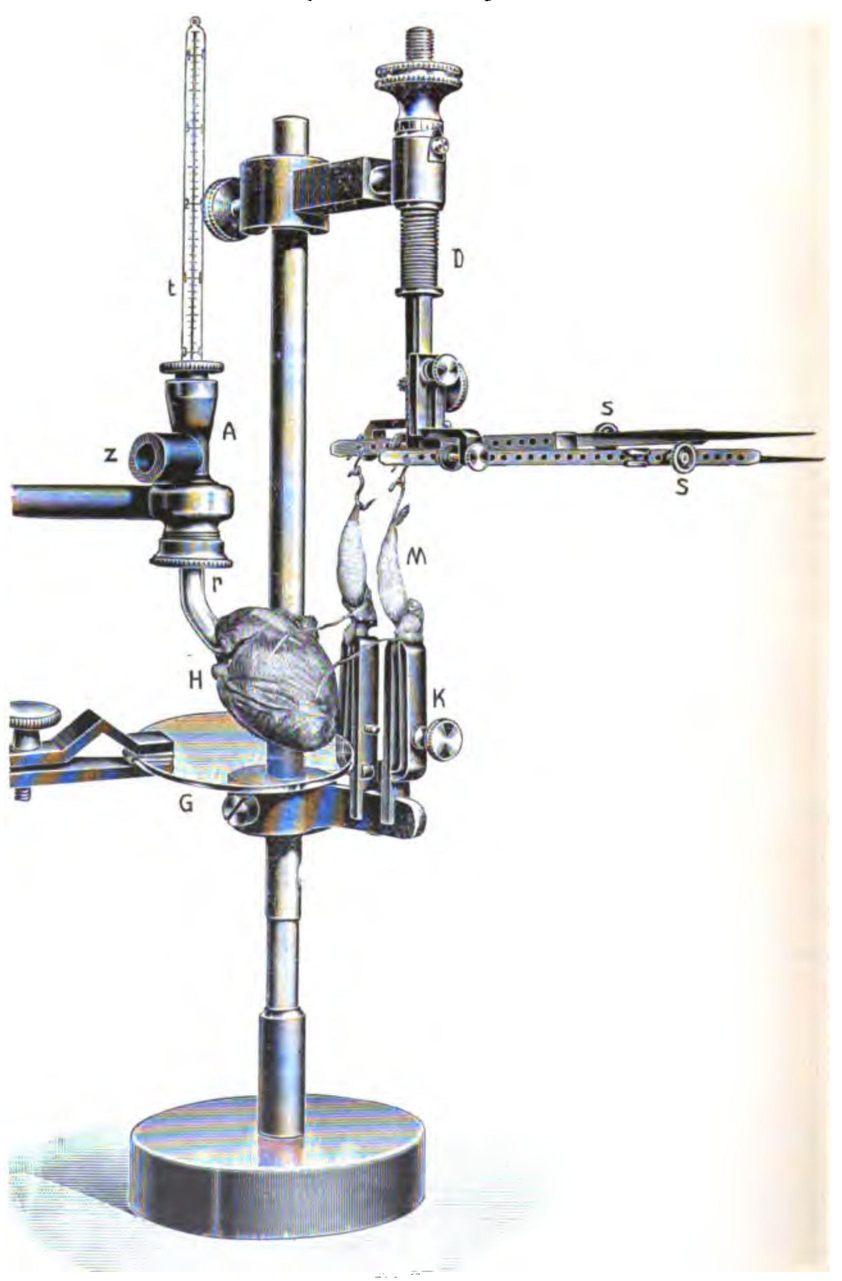


Fig. 1.

Die Ausmessung der Fusspunkt-Distancen geschah in mehreren Fällen mit Hülfe eines sehr genau gearbeiteten Curvenmesstisches, ohne dass jedoch eine merklich grössere Genauigkeit der Messung erreicht wurde als bei Verwendung von Millimeterlineal und Cirkel. Natürlich wurde der Horizontalabstand der Zeichenspitzen jedes Mal in Rechnung gezogen.

Fehlerquellen.

Die Fehler der Methode sind zunächst solche, wie sie allgemein bei graphischen Zeitbestimmungen in Betracht kommen. Wie wir bestrebt gewesen sind, sie auf ein möglichst geringes Maass zu reduciren, soll hier nicht erörtert werden.

Dagegen erfordern die aus den besonderen Versuchsverhältnissen sich ergebenden Fehlerquellen ein kurze Erörterung.

Die zeitliche Vergleichung zweier Muskelcurven kann nur dann genau sein, wenn sie congruent sind. Auf Congruenz mussten wir aber von vornherein Verzicht leisten, da es nicht in unserer Macht stand, die Reizung des einen Nerven ebenso stark wie die des anderen zu machen. Indess gelingt es doch sehr oft, Curvenpaare von nicht allzusehr verschiedenem Verlauf zu gewinnen.

Andere Fehler könnten sich aus einer Verschiedenheit der Latenzzeiten der beiden Muskeln und aus einer Differenz der Länge der beiden Nerven ergeben. Da die Präparate stets von demselben Thier stammten, fast gleichzeitig präparirt und gleichmässig behandelt waren, dürften grössere Latenzdifferenzen wohl ausgeschlossen sein. Die Nerven wurden so gelagert, dass die Lage der auf dem Herzen ruhenden Theile und der zwischen dem Herzen und dem Muskel befindlichen Abschnitte keine erhebliche Verschiedenheit aufwies. Selbst eine Differenz von 30 mm würde indessen das Ergebniss kaum beeinflusst haben, da der dadurch bedingte Zeitunterschied nur etwa 0,001 Secunde betragen hätte, ein Fehler, der für unsere Messungen nicht in Betracht kommen konnte.

Von grösserer Bedeutung scheint dagegen folgender Einwurf zu sein. Man könnte zweifeln, ob in der That das secundäre Präparat ausschliesslich auf den elektrischen Spannungsunterschied reagire, der durch die am Ort seiner Lagerung eintretende Erregung geschaffen wird, ob nicht vielleicht Stromzweige, die von anderen Stellen des Herzens sich verbreiten, örtliche Schwankungen vortäuschen könnten. In der That ist bei Gelegenheit einer Mit-



Fig. 2.

theilung, die Herr Professor Langendorff über die vorliegenden Versuche auf dem internationalen Physiologencongress in Turin im Sept. d. J. gemacht hat, dieser Vorwurf erhoben worden, und ist dabei besonders auf die bekannten Untersuchungen Waller's über die aus der Herzthätigkeit sich ergebende Spannungsvertheilung im Thierkörper hingewiesen werden.

Mir scheint dieser Einwurf unbegründet zu sein, da, wenn er zuträfe, nicht verständlich wäre, wie das secundäre Präparat, dessen Nerv auf einer bestimmten Stelle des Herzens liegt, bei jeder Systole der Ventrikel eine einzige und zwar nur einfache Zuckung ausführen könnte (siehe Fig. 2, die vom Herzen eines lebenden Kaninchens und Fig. 3, die vom überlebenden Katzenherzen stammt) und nicht vielmehr in untergeordnete Zuckungen verfallen müsste. Das beweist doch, dass nur das Maximum des Actionsstromes, nicht aber Zweigströme fähig sind, den Nerven zu erregen.

Man darf nicht vergessen, dass die Waller'schen und die sich daran schliessenden Uutersuchungen von Einthoven mit Hülfe ungeheuer

empfindlicher Capillarelektrometer angestellt sind, die viel geringere Spannungsdifferenzen nachweisen als der empfindlichste Nerv.

Ich habe auf Veranlassung von Herrn Prof. Langendorff, der ähnliche Versuche mit demselben Misserfolg schon vor mehreren Jahren angestellt hat, versucht, ob man durch Ableitung verschiedener Körperstellen beim Menschen, an denen nach Waller und Einthoven deutlich nachweisbare Potentialdifferenzen in Folge der Herzthätigkeit auftreten, im Stande sei, Nervmuskel-Präparate zu erregen. Selbst bei den günstigsten Ableitungen bleiben die äusserst empfindlichen Präparate völlig in Ruhe. Ich orientirte den Froschnerven direct auf der Brust und über dem Herzen in den ver-



Fig. 3.

schiedensten Richtungen, ohne je eine Zuckung des Muskels zu erhalten. Ich tauchte ferner die Zeigefinger der beiden Hände in die du Bois-Reymond'schen Zuleitungsgefässe, die durch unpolarisirbare Elektroden und Leitungsdrähte mit Nervenmuskel-Präparaten verbunden waren, oder ich leitete mit einem Paar Pinselelektroden von der Stelle des Spitzenstosses und der rechten Hand ab und verband die von diesem ausgehenden Leitungsdrähte mit einem zweiten unpolarisirbaren Elektrodenpaar, auf dem der Nerv lag — niemals trat das geringste Anzeichen einer Erregung des Muskels ein.

Desshalb glaube ich, den obigen, auch von uns selbst erhobenen Einwand zurückweisen zu dürfen und zu der Annahme berechtigt zu sein, dass die secundäre Zuckung ein Symptom allein der durch die Applicationsstelle hindurchtretenden Erregung ist.

Ergebnisse.

Dass man durch Auflagerung eines Froschnerven auf das schlagende Herz einfache Zuckungscurven von dem zugehörigen Muskel gewinnt, ist seit den Untersuchungen von Donders, Marey (8) u. A. bekannt.

In Fig. 2 theile ich Aufzeichnungen dieser Art mit, die vom freigelegten Herzen eines lebenden, tief betäubten, mit künstlicher Athmung versehenen Kaninchens stammen; Fig. 3 gibt die secundären Zuckungen wieder, die ein ausgeschnittenes, künstlich durchblutetes Herz von der Katze bei querer Auflagerung des Nerven erregte. Wird das secundäre Präparat längere Zeit benutzt, so stellen sich oft tetanoide, zuweilen mehrgipfelige Zuckungscurven ein, die indessen nichts mit mehrphasischen Actionsströmen u. dgl. zu thun haben, da, wie ich mich überzeugen konnte, ein solcher Nerv, vom Herzen abgenommen, auch einen einzelnen Oeffnungs-Inductionsschlag mit gleich aussehenden Contractionen beantwortet. Wahrscheinlich handelt es sich hierbei um eine Wirkung des die Herzoberfläche benetzenden Blutes oder der Kochsalzlösung, mit der sie von Zeit zu Zeit überrieselt wurde.

Ruhen die beiden Nerven zweier Präparate in möglichst paralleler Lage auf der linken Kammer des isolirten Herzens, so werden bei regelmässiger Herzthätigkeit Aufzeichnungen geliefert, wie sie Fig. 4 darstellt (*b* bedeutet in allen Figuren das der Basis, *s* das der Spitze näher gelegene Präparat). Bei grosser Trommelgeschwindigkeit und passend erhöhter Vergrösserung der Muskelbewegungen durch die Schreibhebel gewinnt man Aufzeichnungen, die, wie Fig. 5 und 6 und die späteren Abbildungen zeigen, eine Messung der etwaigen zeitlichen Verschiebung gut möglich machen.

Untersucht man nun an einem hinlänglich grossen Material von Aufzeichnungen, welches von den beiden Muskelpräparaten früher zuckt als das andere, und wie gross der zeitliche Abstand der Fusspunkte zusammengehöriger Curvenpaare ist, so ergeben sich dreierlei Fälle: Entweder zuckt das basale Präparat früher als das der Spitze nähere, oder sie zucken beide gleichzeitig, oder endlich das Spitzenpräparat geräth früher in Contractionen als das Basispräparat. Zuweilen werden alle drei Fälle während einer und derselben Versuchsreihe, d. h. bei Benutzung eines und desselben Herzpräparates, beobachtet; am

häufigsten fehlt der Fall der Synchronie, und immer ist, auch wenn er vorhanden, die Zeit seines Auftretens nur sehr kurz. Es kommen aber auch Fälle vor, wo während eines Versuches immer das Basis-

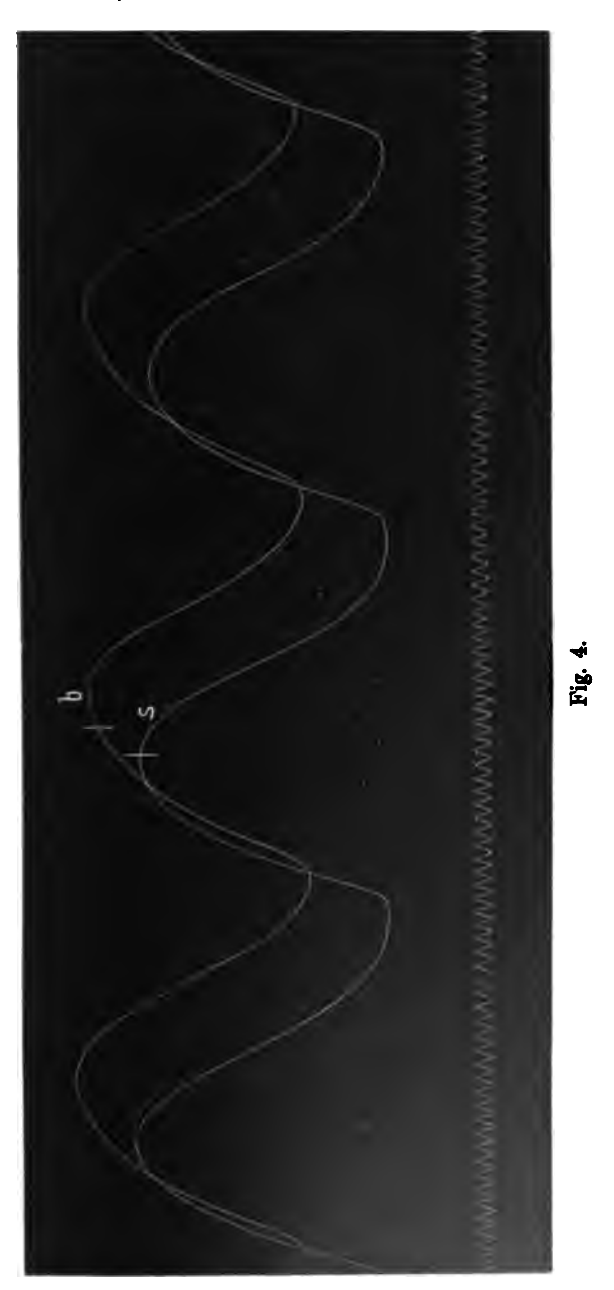


Fig. 4.

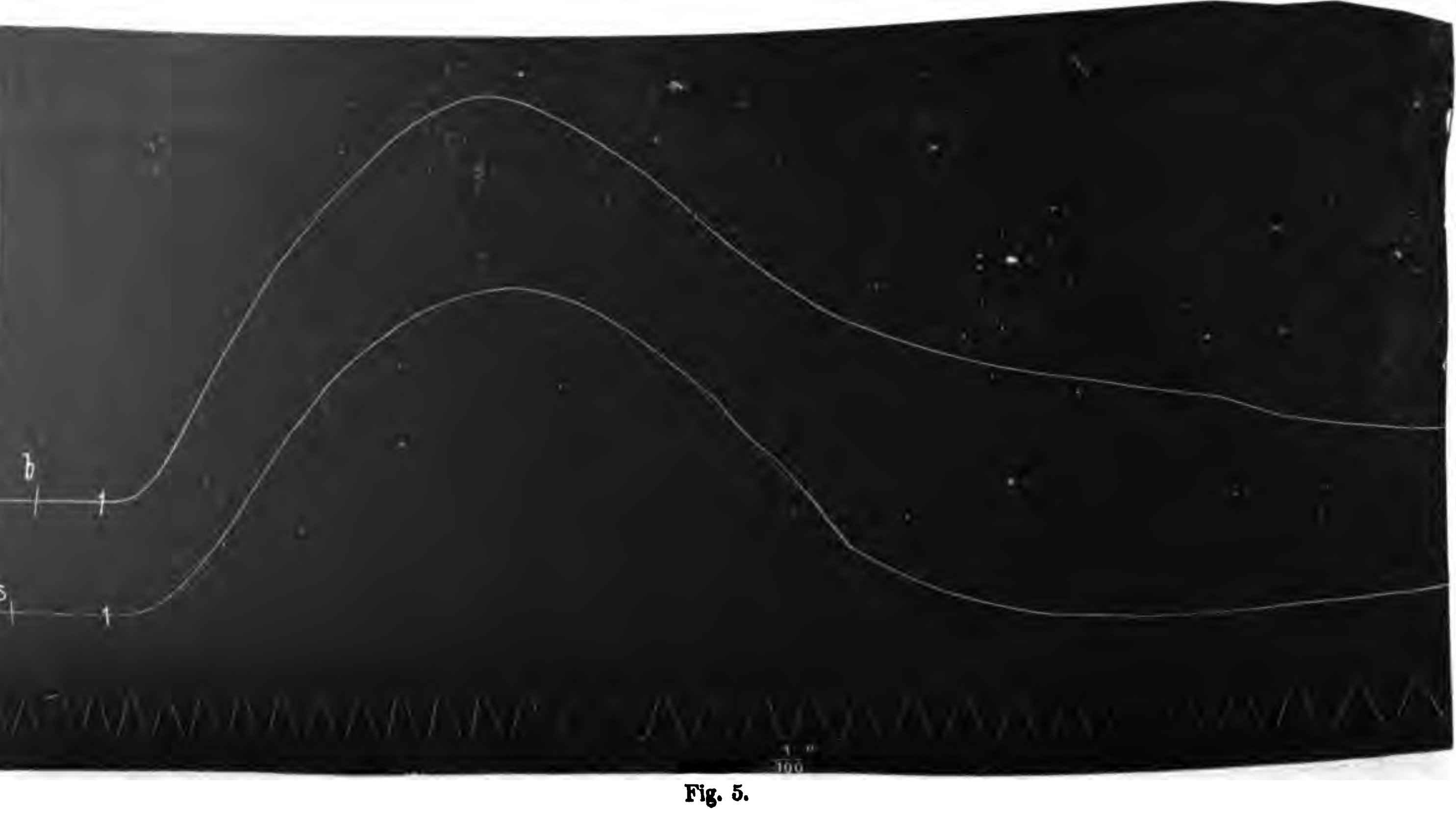


Fig. 5.



Fig. 6.

präparat vorschlägt, oder — und das ist weit häufiger der Fall — wo das Spitzenpräparat stets vorangeht.

In der Regel ist der Verlauf so, dass anfänglich *b* vor *s*, in späteren Stadien *s* vor *b* kommt. Ob ein mittleres Simultanstadium dann vorhanden war und nur bei seiner Flüchtigkeit der Beobachtung entgangen ist, oder ob es gänzlich fehlte, lässt sich schwer sagen. Fig. 5 und 6, von demselben Herzen geliefert, erläutern die beiden Hauptstadien in anschaulicher Weise. Man erkennt, dass in Fig. 5 *b*, in Fig. 6 *s* den Vorrang behauptet. In Fig. 7 ist — aus einem anderen Versuch — eine Aufzeichnung wiedergegeben, in der *b* vor *s* zuckt, während — wieder einem

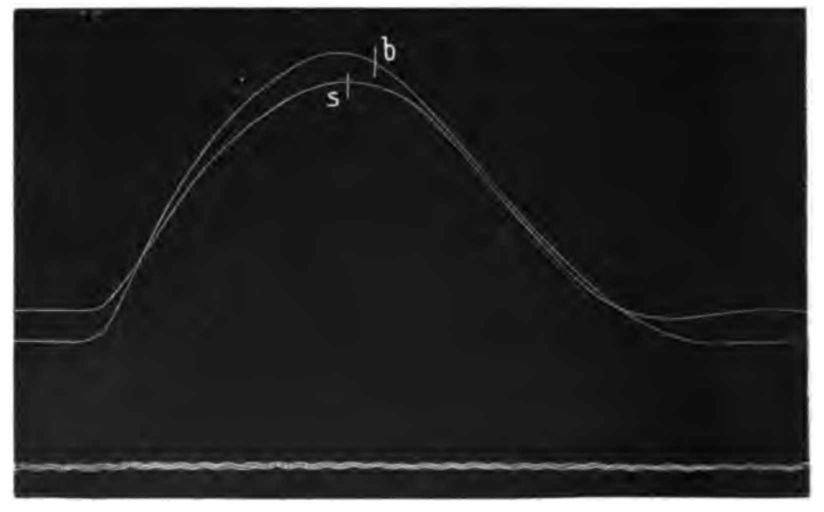


Fig. 7.

anderen Versuch entstammend — Fig. 8 den früheren Eintritt der *s*-Zuckung darstellt. In Fig. 9 handelt es sich um ein absterbendes Herz, das insofern sich abnorm zeigte, als hier andauernd der *b*-Muskel um eine ungewöhnlich lange Zeit dem *s*-Muskel voraneilte. Die Zeitdifferenz betrug hier im Mittel von 5 Beobachtungen, die unter einander wenig abweichen, 0,04 Secunde für einen parallelen Abstand der Nerven von 20 mm. Berechnet man danach die Geschwindigkeit der Negativitätswelle, so ergibt sich dieselbe nur zu 500 mm pro Secunde.

Ganz anders im frischen und kräftig schlagenden Herzen, bei denen — unter der Voraussetzung, dass eine solche Welle besteht — ihre Geschwindigkeit sowohl in dem

einen als in dem anderen Sinne fast immer zwischen 2 und 4 mm per Secunde schwankt. Die mitgetheilten Messungstabellen geben über diese Dinge Auskunft. Zu ihrer

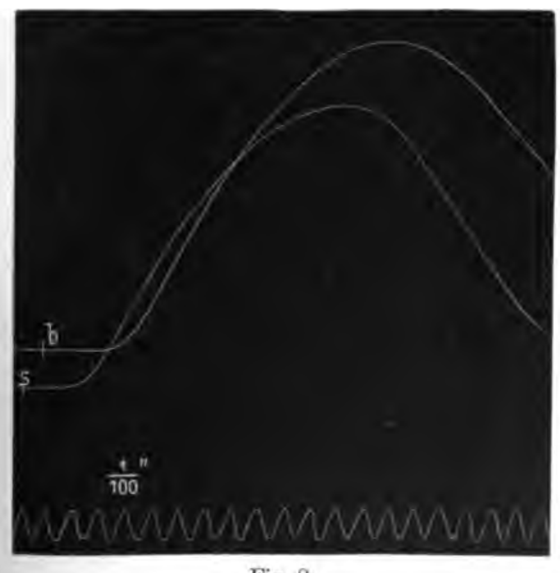


Fig. 8.

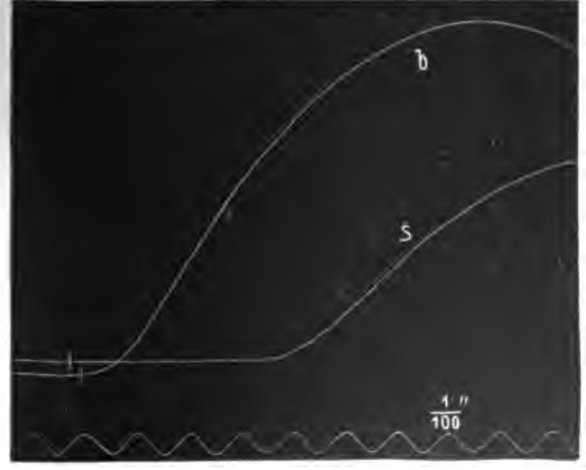


Fig. 9.

Erläuterung sei nur angeführt, dass beim Vorschlagen des *b*-Muskels die die Zeitdifferenz angebende Zahl mit +, beim Vorschlagen des *s*-Muskels mit — bezeichnet ist. Von dem Standpunkte aus, dass

die Erregung und damit die Negativität wellenartig durch den Herzmuskel und zwar normaler Weise von der Basis zur Spitze hin verläuft, könnte man von rechtläufigen und rückläufigen

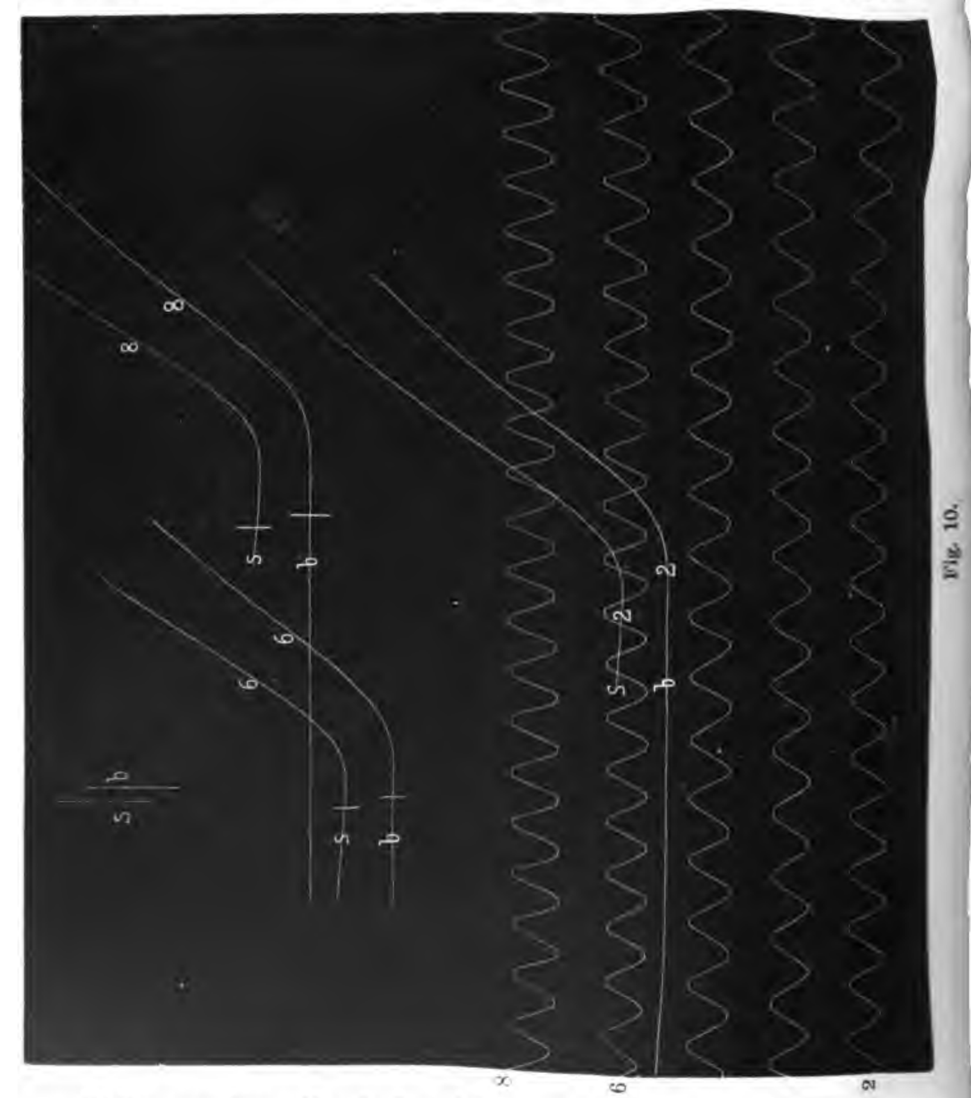


Fig. 10.

Wellen sprechen. Fig. 5, 7 und 9 würden dann rechtläufige, Fig. 6 und 8 rückläufige Wellen illustriren. In Fig. 4 dagegen beginnen die beiden Zuckungen fast gleichzeitig.

In Fig. 10 theile ich einen Theil der Aufzeichnungen mit, die am Herzen des lebenden Thieres (Kaninchen) gewonnen wurden.

(s. sp. Vers. IX). In fast allen drei Curven zuckte das *s*-Präparat früher als das *b*-Präparat. Das war auch bei den übrigen Aufzeichnungen dieses Versuches der Fall (Zeitdifferenz — 0,001 bis 0,0033 Secunde für 20 mm) mit Ausnahme eines einzigen Paares, bei dem die Distance der Anfangspunkte der beiden Zeichnungen gleich Null war. Es muss aber bemerkt werden, dass dieser Versuch in keiner Weise als maassgebend bezeichnet werden darf, da das Thier tief betäubt und das Herz, um die präcise Auflagerung der Nerven zu erlauben, aus dem Thorax möglichst herausgedrängt, mit Wattepolstern u. dgl. versehen werden musste und in Folge der mit ihm vorgenommenen Manipulationen nur sehr wenig kräftig pulsirte [1]).

Dabei sei die Bemerkung eingeschaltet, dass schwach pulsirende Herzen oft sehr starke secundäre Wirkungen zeigen; dass z. B. ein im verbluteten Thiere absterbendes Herz kräftige secundäre Zuckungen des Zwerchfells (durch Vermittlung des N. phrenicus) noch zu einer Zeit auslösen kann, wo die Energie seiner eigenen Contractionen bereits auf ein Minimum heruntergegangen ist. Aehnliches gilt vom ungenügend durchströmten isolirten Herzen.

Versuchstabellen.

Zur Erläuterung derselben sei angeführt, dass die Versuchsergebnisse rein chronologisch gegliedert sind, dergestalt, dass die Ausmessungsergebnisse jeder einzelnen Tafel einer Versuchsreihe für sich mitgetheilt wurden. Zwischen zwei Tafeln liegt immer eine Pause, während deren der Registrircylinder gewechselt, das Herz

---

1) Ich kann überhaupt nicht finden, dass bei Untersuchungen dieser Art das Experiment am lebenden Thier irgend welchen Vorzug vor dem am isolirten Herzen angestellten besitzt, ja ich bin sogar vom Gegentheil überzeugt. Ein isolirtes, künstlich ernährtes Herz, das viele Stunden lang kräftig pulsirt (siehe Rusch, dieses Archiv Bd. 73 S. 549) ist sicher mindestens ebenso normal, wie das bei eröffnetem Thorax unter künstlicher Athmung pulsirende Herz eines lebenden, aber doch mit narkotisirenden und lähmenden Giften behandelten Thieres. Nur wenn es sich darum handelt, gewisse weitergehende Fragen zu beantworten, dürfte das letztere den Vorzug verdienen. Ich habe dabei vor allem die Frage im Auge, ob ein Herz, an welchem der Versuch nachweist, dass hier die Erregungswelle regelmässig von der Spitze zur Basis („rückläufig") gerichtet ist, im Stande ist, den Blutlauf im Thier in normaler Weise zu unterhalten. Ein solcher Versuch würde für die Entscheidung der Peristaltikfrage von grosser Bedeutung sein. Langendorff.

mit warmer Kochsalzlösung berieselt, die Nerven aufgehoben und mit Kochsalz- oder Ringerlösung befeuchtet werden. In Versuch V sind die Ergebnisse der Versuche einer jeden Tafel nur summarisch mitgetheilt, da sie unter einander nicht abweichen. Fast alle Versuche stammen vom überlebenden Katzenherzen, die unter Blutdurchspülung gehalten wurden. Nur Versuch IX enthält, wie erwähnt, die Beobachtungen, die am Herzen eines lebenden Thieres (Kaninchen) angestellt worden sind. Hier ist nur eine kleine Zahl von Messungen gemacht worden, die aber genügen, um zu zeigen, dass die gewonnenen Zahlenwerthe von derselben Ordnung sind wie beim isolirten Herzen.

Die Vorzeichen + und — haben die oben angegebene Bedeutung, d. h. + bedeutet *b* vor *s*, — *s* vor *b*. Der Abstand der Nerven betrug fast immer 2 cm. Mit völliger Genauigkeit wurde dieser Abstand nicht festgehalten. Ueberhaupt können alle Bestimmungen nur als angenähert richtige angesehen werden. Dies gilt besonders auch von der Angabe, dass der Zeitabstand gleich Null sei. In diesen Fällen wäre es ebenso gut möglich, dass eine sehr kleine positive oder negative Zeitdifferenz vorhanden war, die sich der Messung entzog.

Versuch I. 7. Januar 1901.

Grosser Kater. Herz bei Tafel I noch ungenügend durchströmt, daher die abnorm grossen Zeitwerthe.

Tafel 1.

a) + 0,040	c) + 0,045	e) + 0,080
b) + 0,045	d) + 0,075	f) + 0,085

Tafel 2.

a) + 0,005	f) — 0,005	l) 0
b) 0	g) 0	m) + 0,005
c) 0	h) + 0,005	n) 0
d) 0	i) + 0,005	o) 0
e) — 0,005	k) + 0,005	

Tafel 3.

a) — 0,010	f) — 0,010	l) — 0,005
b) — 0,005	g) — 0,005	m) — 0,005
c) — 0,005	h) — 0,005	n) — 0,005
d) — 0,005	i) — 0,005	o) — 0,005
e) — 0,010	k) — 0,005	

Versuch II. 8. Januar 1901.

Grosser Kater.

Tafel 1.

a) + 0,020 d) + 0,020 f) + 0,020
b) + 0,020 e) + 0,020 g) + 0,015
c) + 0,020

Tafel 2.

a) + 0,005 c) + 0,010 e) + 0,010
b) + 0,005 d) + 0,010

Tafel 3.

a) + 0,030 c) + 0,005
b) + 0,010 d) — 0,030

Versuch III. 17. Januar 1901.

Katze. Nerven vor dem Beginn des Versuchs in Ringer'scher Lösung aufbewahrt. Abstand der Nerven in Tafel 1 = 3 cm, in den übrigen 2 cm.

Tafel 1.

a) 0 e) + 0,005 h) + 0,005
b) + 0,005 f) 0 i) + 0,005
c) 0 g) + 0,005 k) 0
d) 0

Tafel 2.

a) 0 d) 0 f) + 0,005
b) 0 e) 0 g) 0
c) + 0,005

Tafel 3.

a) — 0,005 d) — 0,015 g) — 0,005
b) — 0,005 e) — 0,005 h) — 0,005
c) — 0,005 f) — 0,005 i) — 0,005

Versuch IV. 23. Januar 1901.

Kater. Nerven vorher in Ringerlösung.

Tafel 1.

a) + 0,005 d) + 0,005
b) + 0,005 e) + 0,005
c) + 0,010

Tafel 2.

a) + 0,010 b) + 0,010

Tafel 3.

a) 0 g) 0 n) — 0,005
b) + 0,010 h) 0 o) — 0,005
c) + 0,010 i) — 0,005 p) — 0,005
d) + 0,005 k) — 0,005 q) — 0,005
e) 0 l) — 0,005 r) 0
f) 0 m) 0

Tafel 4.

a) — 0,010	e) — 0,010	i) — 0,010
b) — 0,010	f) — 0,010	k) — 0,010
c) — 0,010	g) — 0,010	l) — 0,010
d) — 0,010	h) — 0,010	m) — 0,010

Tafel 5.

a) — 0,010	k) — 0,010	t) — 0,010
b) — 0,010	l) — 0,010	u) — 0,010
c) — 0,010	m) — 0,010	v) — 0,010
d) — 0,010	n) — 0,020	w) — 0,010
e) — 0,010	o) — 0,010	x) — 0,005
f) — 0,010	p) — 0,010	y) — 0,005
g) — 0,010	q) — 0,010	z) — 0,010
h) — 0,015	r) — 0,010	z[1]) — 0,005
i) — 0,015	s) — 0,010	

Tafel 6.

a) — 0,005	i) — 0,010	r) — 0,005
b) — 0,005	k) — 0,020	s) — 0,005
c) — 0,005	l) — 0,010	t) — 0,005
d) — 0,010	m) — 0.010	u) — 0,010
e) — 0,010	n) — 0,010	v) — 0,005
f) — 0,010	o) — 0,010	w) — 0,005
g) — 0,015	p) — 0,010	x) — 0,005
h) — 0,010	q) — 0,010	y) — 0,005

Versuch V. 7. März 1901.

Hier sind nur die aus den mit einander völlig übereinstimmenden Einzelversuchen einer jeden Tafel hervorgehenden Mittelzahlen angeführt; bei jeder Tafel wurden 4—5 Messungen gemacht.

Tafel 1. + 0,010.
Tafel 2. — 0,005.
Tafel 3. — 0,005.
Tafel 5. — 0,010.
Tafel 6. — 0,010.

Versuch VI. 30. August 1901.

Katzenherz. Befindet sich behufs genauerer Regulirung seiner Temperatur in einer aus Glas und Glimmer verfertigten Wärmekammer. Die Messungen sind trotz der Benutzung eines mikrometrischen Messtisches weniger zuverlässig als die vorhergehenden, weil die Aufzeichnungen ein genaues Erkennen der beginnenden Curvenerhebung nicht gestatteten. Daher möglicher Weise die ganz ungewöhnlichen Schwankungen der gemessenen Werthe, besonders auf Taf. 3.

Tafel 1.

a) + 0,010	l) + 0,010	u) + 0,020
b) + 0,020	m) + 0,010	v) + 0,020
c) + 0,020	n) + 0,010	w) + 0,020
d) + 0,008	o) + 0,010	x) + 0,030
e) 0	p) + 0,020	y) + 0,020
f) + 0,001	q) + 0,020	z) 0
g) 0	r) 0	z^1) + 0,020
h) + 0,010	s) + 0,020	z^2) 0
i) 0	t) + 0,020	z^3) + 0,030
k) + 0,010		

Tafel 3.

a) — 0,005	o) — 0,018	a^1) — 0,015
b) — 0,010	p) — 0,044	b^1) — 0,040
c) — 0,005	q) — 0,027	c^1) — 0,027
d) — 0,025	r) — 0,044	d^1) — 0,018
e) — 0,030	s) — 0,032	e^1) — 0,027
f) — 0,020	t) — 0,040	f^1) — 0,025
g) — 0,030	u) — 0,018	g^1) — 0,025
h) — 0,020	v) — 0,025	h^1) — 0,032
i) — 0,030	w) — 0,040	i^1) — 0,023
k) — 0,030	x) — 0,043	k^1) — 0,014
l) — 0,026	y) — 0,050	l^1) — 0,025
m) — 0,036	z) — 0,032	m^1) — 0,031
n) — 0,018		

Versuch VII. 3. September 1901.

Herz in der Wärmekammer. Pulsirt sehr schlecht. Durchblutung bei Maximaldruck gering. Das Herz stammt von einem sehr elenden Thier. An zwei Stellen Sehnenflecke.

Tafel.

a) + 0,045	d) + 0,045	g) + 0,0433
b) + 0,0425	e) + 0,0425	h) + 0,0475
c) + 0,0475	f) + 0,045	

Versuch VIII. 6. September 1901.

Grosser Kater. Herz sehr kräftig. Wärmekammer.

Tafel 1.

a) + 0,005	b) + 0,015	c) + 0,0125

Tafel 3.

a) + 0,005	b) + 0,004	c) + 0,004

Tafel 4.

a) + 0,0056	b) + 0,010

Tafel 5.

a) — 0,008	d) — 0,0075
b) — 0,0125	e) — 0,008
c) — 0,0075	

Versuch IX. 9. September 1901.

Lebendes Kaninchen. Chloralhydratnarkose. Thorax eröffnet. Künstliche Athmung. Perikard gespalten und an die Brustwand angenäht. Wattepolster erhalten das Herz in passender Lage. Als der Versuch beginnt, ist das Herz schon sehr elend.

Tafel.

a) 0	d) — 0,001
b) — 0,0025	e) — 0,0025
c) — 0,0033	

Uebersicht.

Es liegt in der Natur der Sache, dass Zeitmessungen dieser Art nicht immer gleiche Ergebnisse liefern können. In den gut gelungenen Versuchen sind aber die Resultate von sehr bemerkenswerther Gleichmässigkeit. In solchen kommen positive Vorzeichen — also Vorangehen der Basis — nur im Anfang vor. Die Werthe von 0 kommen nur kurze Zeit vor, die bei Weitem meisten Werthe sind negativ, d. h. ein früheres Zucken des der Spitze zunächst gelegenen Präparates andeutend. Eine Ausnahme macht Versuch VII, wo nur positive Werthe erlangt worden sind — allerdings waren hier nur acht Einzelversuche zur Messung brauchbar —, und Versuch II, wo nur eine einzige, die letzte, Messung einen negativen Werth lieferte. Gar keinen positiven Werth gab das im lebenden Thier untersuchte Herz (Versuch IX).

Im Ganzen sind über 275 Messungen ausgeführt worden; lassen wir Versuch VII, den wenig Vertrauen verdienenden Versuch VI und den am lebenden Kaninchen angestellten Versuch IX bei Seite, so zeigen die übrigen auch unter einander sehr gut übereinstimmende Zahlen. Eine kurze Betrachtung der in ihnen gewonnenen Werthe macht dies deutlich.

In Versuch I sind 34 Messungen gemacht. Die erste Tafel (6 Messungen) lieferte abnorm hohe Werthe (0,040 bis 0,085 Sec.). Offenbar war der Blutlauf im Herzen hier noch nicht lange genug im Gange. Unter den übrigen 28 Messungen findet sich die Zahl

$\pm$ 0,005 Sec. 18 Mal,
— 0,010 „ 7 „
0 „ 3 „

In Versuch II sind 16 Messungen ausgeführt:

+ 0,020 Sec. 6 Mal (nur erste Tafel!)
+ 0,010 „ 4 „
+ 0,005 „ 3 „
± 0,030 „ 2 „
+ 0,015 „ 1 „

In Versuch III kam bei Taf. 1 die Zahl 0,005 Sec. unter 10 Messungen 5 Mal, ebenso oft der Werth 0 vor. Die Zahl 0,005 muss aber, da hier der Nervenabstand 30 mm, nicht wie sonst 20 mm, betrug, reducirt werden uud entspricht dann einem Werthe von 0,0033 Sec. Für die 16 Messungen von Taf. 2 und 3 finden sich die Werthe:

± 0,005 Sec. 10 Mal,
0 „ 5 „
— 0,015 „ 1 „

In Versuch IV sind 86 Messungen gemacht; die Werthe vertheilen sich auf die Einzelversuche in dieser mir als die gelungenste erscheinenden Versuchsreihe folgendermaassen:

± 0,010 Sec. 49 Mal (!)
± 0,005 „ 25 „
0 „ 7 „
— 0,015 „ 3 „
— 0,020 „ 2 „

Versuch V, in dem die Einzelwerthe jeder Tafel mit einander übereinstimmen, gab auf 5 Tafeln:

± 0,010 Sec. 3 Mal,
— 0,005 „ 2 „

Bei Versuch VI sind offenbar Messungsfehler vorgefallen; doch ist immerhin bemerkenswerth, dass unter den 28 Einzelmessungen der ersten Tafel die Zahl + 0,020 Sec. 11 Mal, + 0,010 Sec. 7 Mal, 0 Sec. 6 Mal vorkommt.

In Versuch VIII liegen sämmtliche 13 bestimmten Worte zwischen 0,004 und 0,015 Sec.

Danach kann es nicht zweifelhaft sein, dass man berechtigt ist, die gesuchte Zeitdifferenz zu ± 0,005 bis 0,010 Sec. anzugeben. Unter der Annahme, dass der gefundene Zeitunterschied darauf beruht, dass eine Erregungswelle von der Basis zur Spitze oder umgekehrt abläuft, würde sich deren Geschwindigkeit zu — 2 bis 4 m/sec — bestimmen.

Fraglich bleibt bei alledem, worauf es beruht, dass in manchen

Fällen ein merklicher Zeitunterschied nicht vorhanden ist, und wie es kommt, dass die supponirte Welle sowohl rechtläufig als rückläufig sein kann. Dass am isolirten Herzen die Rückläufigkeit das häufigere, in den späteren Stadien wohl das ausschliesslich Vorkommende ist, geht aus den mitgetheilten Protokollen hervor.

Fig. 11.

Secundäres Flimmern.

Von der uncoordinirten Thätigkeit des Herzens, die man als Wogen oder besser Flimmern des Herzmuskels bezeichnet, hat Kronecker (12) graphische Aufzeichnungen mitgetheilt, die vom linken Ventrikel des Hundeherzens mittelst Herzhäkchens und Faden auf ein Luftkapselsystem übertragen wurden.

Dass das Flimmern auch zu charakteristischen galvanischen Vorgängen führt, hat zuerst Fredericq (1) dargethan. Mittelst des registrirenden Capillarelektrometers hat er die entsprechenden Schwankungen aufzeichnen können. Neuerdings hat Battelli (13) auf photographischem Wege das Flimmern des Herzmuskels registrirt.

Bei Gelegenheit der im Vorangehenden mitgetheilten Versuche habe ich es einige Male unternommen, die ungeordneten Bewegungen des flimmernden Herzens auf ein Nervmuskelpräparat wirken zu lassen und dadurch Aufzeichnungen erzielt, die von der Eigen-



Fig. 12.

artigkeit dieser Form der Herzbewegung ein überaus charakteristisches Abbild geben. Nach dem Vorschlage von Herrn Prof. Langendorff bezeichne ich dieses Phänomen als secundäres Flimmern (nach Analogie der secundären Zuckungen und des secundären Tetanus). In Fig. 11, 12 und 13 theile ich drei bei verschiedenen Geschwindigkeiten des Registrircylinders gewonnene Aufzeichnungen mit, von denen 11 und 12 demselben Herzen, Fig. 13 einem andern Versuch entstammen. Immer handelte es sich um das isolirte, künstlich gespeiste Katzenherz; das Flimmern war durch elektrische Tetanisirung hervorgebracht, das Herz wurde natürlich erst dann auf seine secundären Zuckungen geprüft, nachdem der elektrische Reiz längst entfernt war. Der Nerv des Froschpräparates lag bei diesen Versuchen meist quer über der linken Kammer. Zuweilen aber wurde ein Nerv über die Basis und zugleich ein anderer über die Spitze gebrückt; in noch anderen Fällen hat der Nerv der Länge nach der linken Kammer angelegen.

In allen Aufzeichnungen erkennt man an den secundären Zuckungen, in wie erheblicher Weise die Coordination der Herzthätigkeit gestört sein musste, wie zeitliche Aufeinanderfolge und Stärke der Einzelcontractionen einem regellosen Wechsel unterworfen waren.

Zum Schlusse dieser Mittheilungen sei es mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Langendorff, meinen Dank auszusprechen für die Anregung zu diesen Untersuchungen und für die freundliche Unterstützung während derselben.

Literatur.

1) L. Fredericq, Sur les phénomènes électriques de la systole ventriculaire chez le chien. Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (7ème série) t. 13 H. 5/6. 1887 und Travaux du Laboratoire. Liège t. 2 p. 133. 1887/88.

2) A. F. Waller und E. W. Reid, On the action of the excised mammalian heart. Philosoph. Transactions. Roy. Soc. London vol. 178 B p. 215. 1888.

3) A. F. Waller, On the electromotive changes connected with the beat of the mammalian heart and of the human heart in particular. Ibid. vol. 180 B. p. 169. 1889.

4) W. M. Bayliss and E. H. Starling, Electromotive phenomena of the mammalian heart. Proc. of the Roy. Soc. London vol. 50 p. 211.
— Dieselben, Internationale Monatsschrift für Anatomie und Physiologie Bd. 9 S. 256. 1892.
5) A. Kölliker und H. Müller, Nachweis der negativen Schwankung des Muskelstroms am natürlich sich contrahirenden Muskel. Verh. d. physical.-med. Gesellsch. in Würzburg Bd. 6 S. 528. 1856.
6) F. C. Donders, De secundaire contracties onder den invloed der systolen van het hart etc. Onderz. ged. in het Physiolog. Labor. der Utrechtsche Hoogeschool III R. Bd. 1 S. 246. 1872.
— Derselbe, Rustende spierstroom en secundaire contractie, uitgaande van het hart. Ibid. S. 256.
7) J. P. Nuël, Note sur les phénomènes électriques du cœur. Bull. Acad. roy. de Belgique (2ième série) t. 26 p. 335. 1875.
8) E. J. Marey, La circulation du sang etc. p. 26. Paris 1881 und Travaux du Laboratoire t. 1 p. 47.
9) O. Langendorff, Untersuchungen am überlebenden Säugethierherzen. Dieses Archiv Bd. 61 S. 291. 1895.
10) Derselbe, Eine neue Vorrichtung zur Speisung des überlebenden Säugethierherzens. Sitzungsber. der naturf. Gesellsch. zu Rostock 1899 Nr. 6.
11) Derselbe, Eine neue Methode zur Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit. der Erregung im Herzmuskel. Ibid. 1901 Nr. 1.
12) H. Kronecker, Ueber Störungen in der Coordination des Herzkammerschlages. Zeitschrift f. Biologie. XXXIV. Jubelband f. W. Kühne 1897. Fig. 1.
13) F. Battelli, Les trémulations fibrillaires du cœur chez les différentes espèces animales. Travaux du laborat. de physiol. Genève (dirigé par J. L. Prévost) t. 2 p. 22. 1900.

(Aus dem pharmakologischen Institut der Universität Greifswald.)

Weitere Mittheilung über den Kieselsäuregehalt thierischer und menschlicher Gewebe, insbesondere der Wharton'schen Sulze.

Von

Hugo Schulz.

Im 84. Bande dieses Archivs hatte ich auf Seite 99 vorläufig bemerkt, dass, entsprechend ihrem Gehalte an Bindegewebe, auch die Schwimmblase der Fische reich sei an Kieselsäure. Den zahlenmässigen Beleg dafür kann ich jetzt erbringen.

Um die bindegewebige, leimgebende Substanz aus der Hausenblase möglichst rein und isolirt zu gewinnen, wurden 500 g bester Handelswaare wiederholt mit destillirtem Wasser in einem Topfe aus Nickelmetall ausgekocht. Das Gelöste wurde heiss filtrirt, sämmtliche Filtrate auf einer Porcellanschale vereinigt und auf dem Wasserbade auf ein geringeres Volum gebracht. Es stellte sich dabei heraus, dass die Filtrate doch nicht ganz frei von kleinsten Beimengungen feinster, fremdartiger Theilchen geblieben waren. Um sie zu entfernen wurde die heisse, dünn gallertige Masse, die als Endresultat des Eindampfens in der Porcellanschale sich befand, in einen grossen, an seinem engen Ende mit Watte verstopften Trichter eingefüllt. Beim Stehen senkte sich alles Trübe langsam nieder, und das Ueberstehende erschien schliesslich völlig klar. Nach dem Erkalten wurde der Trichter umgestülpt und von dem auf diese Weise erhaltenen Gallertkegel die Spitze so weit abgetragen, dass sicher in dem Rest keine mit blossem Auge wahrnehmbare Verunreinigung sich befand. Die gallertartige Masse wurde darauf in kleine Stückchen zerschnitten und diese etwa vierzehn Tage lang im Vacuum über öfter erneuter Schwefelsäure getrocknet. Die Stückchen wurden dabei hornartig hart und schliesslich so spröde, dass sie sich im Stahlmörser pulverisiren liessen.

Zur Feststellung des Aschengehaltes wurde ein Theil des Pulvers zunächst noch bis zum constanten Gewicht bei 105° getrocknet. Die Veraschung geschah, wie bei den früheren Analysen, in Platinschälchen, die Hauptmenge des Pulvers wurde vorher in einer Nickelschale verkohlt.

a) Aschenbestimmung:

2,0384 g Substanz gaben 0,0196 g Asche = 0,9615 %,
0,9543 g „ „ 0,0095 g „ = 0,9955 %,
Mittel: 0,9785 %.

b) Kieselsäurebestimmung:

0,8806 g Asche gaben 0,0061 g SiO_2 = 0,6916 %,
0,5093 g „ „ 0,0037 g „ = 0,7245 %,
Mittel: 0,7080 %.

1 kg Trockensubstanz enthält 0,0693 g Kieselsäure.

Vergleicht man den zuletzt angeführten Werth mit den Zahlen, die in meiner ersten Mittheilung angegeben sind, so ergibt sich zunächst, dass die Hausenblase, oder richtiger das ihr eigene, leimgebende Gewebe, erheblich weniger Kieselsäure enthält wie die beste käufliche Gelatine. Während bei dieser auf 1 kg Trockensubstanz 0,2834 beziehentlich 0,2979 g Kieselsäure kommen, enthält das leimgebende Gewebe der Hausenblase nur 0,0693 g, also etwa den vierten Theil in derselben Menge. Viel näher liegt das Verhältnis zwischen Hausenblase und dem aus Rindersehnen hergestellten Glutin, bei dem der entsprechende Werth sich auf 0,0467 g beziffert, und er ist nahezu gleich dem Mittelwerthe aus einem Kilogramm wasserfreier menschlicher Sehnen mit 0,0637 g.

Trotzdem die Hausenblase wiederholt mit Wasser ab- und durchgekocht worden war, blieb doch ein gewisser Antheil derselben in Gestalt weisser, fetziger Membranen ungelöst. Es gelang, von diesen so viel zu sammeln, dass ihr Aschengehalt bestimmt und wenigstens eine Kieselsäureanalyse ausgeführt werden konnte.

a) Aschenbestimmung:

0,5575 g trockne Substanz gaben 0,0085 g Asche = 1,5247 %,
0,6862 g „ „ „ 0,0108 g „ = 1,5739 %,
Mittel: 1,5493 %.

b) Kieselsäurebestimmung:

0,0757 g Asche gaben 0,0028 g SiO_2 = 3,6861 %.

1 kg Trockensubstanz enthält 0,5711 g Kieselsäure.

Ein so hoher Kieselsäuregehalt der Asche ist bei den bisher untersuchten Geweben überhaupt noch nicht, und ein solcher für dieselbe Säure in der Trockensubstanz nur beim Glaskörper des Rindes erhalten worden, wo er sich im Mittel auf 0,5814 g für das Kilogramm Trockensubstanz stellte. Ich nahm zuerst als Grund für den hohen Kieselsäurewerth der Membranenasche irgend welche, den Membranen selbst vielleicht noch anhaftende Verunreinigung an. Wenn man aber überlegt, wie oft und gründlich sie beim Kochen mit Wasser abgespült waren, bedenkt man ferner das verhältnissmässig niedrige Aschengewicht: 1,5493 %, so erscheint die Annahme, dass unorganische Verunreinigungen im Spiele gewesen seien, doch ganz hinfällig. Eine Erklärung aber dafür, was eigentlich diese Membranen ursprünglich für eine Rolle in der Schwimmblase spielten, ist damit auch nicht gegeben.

Wenn die Annahme richtig ist, dass Kieselsäure und Bindegewebe so eng zusammengehören, dass ich schon in meinem ersten Aufsatz aussprechen konnte: W o B i n d e g e w e b e i m T h i e r k ö r p e r s i c h f i n d e t, d a t r e f f e n w i r a u c h d i e K i e s e l s ä u r e m i t S i c h e r h e i t a n, wenn ferner bei den Untersuchungen menschlicher Gewebe es sich herausgestellt hatte, dass der Kieselsäuregehalt allem Anschein nach in den einzelnen Organen direct von deren Bindegewebsgehalt abhängig ist, so musste es von grossem Interesse sein, einmal ein Bindegewebe zu untersuchen, dessen Entwicklung und ganzer Aufbau unter Bedingungen sich vollziehen, bei denen die unmittelbare Zufuhr von Kieselsäure durch die Nahrung ausgeschlossen war. Ich beschloss demnach, embryonales Bindegewebe auf seinen Gehalt an Kieselsäure zu untersuchen und wählte als Material die W h a r t o n'sche Sulze menschlicher Früchte.

Der Freundlichkeit des Herrn Collegen M a r t i n habe ich es zu verdanken, dass ich aus der hiesigen geburtshülflichen Klinik nach und nach im Ganzen 120 menschliche Nabelstränge erhielt. Dieselben wurden für die Analyse vorbereitet wie folgt:

Jeder Nabelstrang wurde, frisch wie er aus der Klinik kam, sofort mit destillirtem Wasser gründlich abgespült und dann in etwa 5 cm lange Stücke zerschnitten. Diese wurden in einer Porcellanschale so lange mit destillirtem Wasser gewaschen, bis dies keinen Blutfarbstoff mehr aufnahm. Dann wurden die Stücke der Länge

nach gespalten, die Gefässe herauspräparirt und dann nochmals die Stücke in destillirtem Wasser gewaschen, bis dies farblos blieb. So vorbereitet wurde die Sulze auf dem Wasserbade in einer Porcellanschale getrocknet. Es blieb immer nur ein geringes Quantum graubraun gefärbter Masse übrig. Nachdem im Laufe der Zeit das ganze Material getrocknet war, wurde versucht, dasselbe zu pulverisiren. Es erwies sich aber als so zähe, dass es nur mit Hülfe einer immer enger gestellten Kaffeemühle gelang, eine genügende Zerkleinerung zu erreichen. Nachdem die gemahlene Substanz sorgfältig durch einander gemischt war, wurde ein Theil für die Aschenbestimmung bei Seite gestellt, die Hauptmenge direct verascht. Die Veraschung geschah diesmal so, dass kleine Mengen des Sulzepulvers direct in der Platinschale verkohlt und dann im Muffelofen verascht wurden. Die Temperatur des Ofens war durchweg so geregelt, dass kaum eine ganz schwache Rothgluth in seinem Innern erkennbar war. Die einzelnen, hellgrauweiss gefärbten Aschenportionen wurden gesammelt und, ehe sie zur Analyse kamen, innig gemischt. Ich habe diesmal die Untersuchung der Asche, die beim Uebergiessen mit Salzsäure stark aufbrauste, etwas weiter ausgedehnt und neben der Kieselsäure noch deren Gehalt an Kalk, Magnesia, Eisen und Phosphorsäure bestimmt. Ein Versuch, Fluor in der Asche nachzuweisen, fiel negativ aus. Sämmtliche Berechnungen beziehen sich, wie auch bei der Hausenblase, durchweg auf reine Asche, d. h. auf den Aschenwerth minus Kohle und etwa vorhandenen Sand. Das nicht veraschte Material wurde bei 110° bis zum gleichbleibenden Gewichte getrocknet und zur Bestimmung des Aschengehaltes benutzt.

a) Aschenbestimmung:

1,2619 g Substanz gaben 0,0515 g Asche = 4,0811 %,
1,8060 g „ „ 0,0733 g „ = 4,0587 %,
Mittel: 4,0699 %.

b) Kieselsäurebestimmung:

2,0479 g Asche gaben 0,0123 g SiO_2 = 0,6001 %,
1,8580 g „ „ 0,0111 g „ = 0,5969 %,
Mittel: 0,5985 %.

c) Kalkbestimmung:

2,0479 g Asche gaben 0,1658 g CaO = 8,0956 %,
1,8580 g „ „ 0,1506 g „ = 8,1044 %,
Mittel: 8,1000 %.

Der Kalk war als Oxalat ausgefällt, geglüht bis kein Gewichtsverlust mehr eintrat, und als Calciumoxyd berechnet.

d) Magnesiabestimmung:

2,0479 g Asche gaben 0,0964 g $Mg_2P_2O_7$ = 0,0347 g MgO = 1,6954 %,
1,8580 g „ „ 0,0882 g „ = 0,0318 g „ = 1,7099 %,
Mittel: 1,7026 %.

Die Magnesia war als phosphorsaure Ammoniak-Magnesia gefällt und als pyrophosphorsaure Magnesia gewogen.

e) Eisenbestimmung:

1,8580 g Asche gaben 0,0348 g $FePO_4$ = 0,0184 g Fe_2O_3 = 0,9919 %,
1,4863 g „ „ 0,0278 g „ = 0,0147 g „ = 0,9904 %,
Mittel: 0,9912 %.

Das Eisen war als phosphorsaures Eisen gefällt und gewogen, daraus das Eisen als Oxyd berechnet.

f) Phosphorsäurebestimmung:

α. aus dem phosphorsauren Eisen:

1,8580 g Asche gaben 0,0348 g $FePO_4$ = 0,0164 g P_2O_5 = 0,8799 %,
1,4863 g „ „ 0,0278 g „ = 0,0131 g „ = 0,8787 %,
Mittel: 0,8793 %.

β. nach Ausfällung der an Eisen gebundenen Phosphorsäure:

2,0479 g Asche gaben 0,2704 g $Mg_2P_2O_7$ = 0,1729 g P_2O_5 = 8,4448 %,
1,8580 g „ „ 0,2452 g „ = 0,1568 g „ = 8,4398 %,
Mittel: 8,4423 %.

In dieser Bestimmung war die Phosphorsäure als phosphorsaure Ammoniak-Magnesia gefällt, als pyrophosphorsaure Magnesia gewogen und daraus der Werth für Phosphorpentoxyd berechnet.

Aus den beiden Mittelwerthen berechnet sich der Gesammtgehalt der Asche an Phosphorpentoxyd auf: 9,3216 %.

Berechnet man die procentischen Werthe für Kieselsäure, Kalk u. s. w. in der Asche auf 1 kg Trockensubstanz, so ergibt sich folgende Reihe:

1 kg wasserfreie Wharton'sche Sulze enthält:

0,2436 g Kieselsäure,
0,4034 g Eisenoxyd,
0,6929 g Magnesia,
3,2966 g Kalk,
3,7938 g Phosphorpentoxyd.

Von den unorganischen Bestandtheilen des embryonalen Bindegewebes interessirt uns hier zunächst nur die Kieselsäure. Setzen wir ihren procentischen Werth in der Asche rund gleich 0,6, so ergibt sich zunächst, dass keins der bis jetzt darauf hin untersuchten menschlichen Gewebe einen gleich hohen Gehalt aufzuweisen hat. 0,5 % Kieselsäure, ebenfalls in runder Zahl angenommen, ist der höchste Werth, der bis jetzt erhalten wurde, und zwar aus menschlicher Sehne. Uebertroffen ist die für die Wharton'sche Sulze gültige Zahl überhaupt nur einmal bei der Rindersehne mit 0,66 %. Von einem Vergleiche mit den Verhältnissen bei der Hausenblase und der Gelatine mag hier Abstand genommen werden. Was für den Kieselsäuregehalt der Asche gilt, trifft ebenso zu, wenn wir ihn, auf 1 kg Trockensubstanz berechnet, bei menschlichen und thierischen Geweben und Organen in Vergleich stellen. Die abgekürzte Zahl für das embryonale Gewebe ist 0,24. Sie stellt sich über doppelt so hoch, wie der entsprechende Werth bei der menschlichen Fascie, wo er rund 0,11 ist. Viel bedeutungsvoller für die ganze Frage nach der zufälligen oder nothwendigen Anwesenheit der Kieselsäure in den Organen des Menschen und der Thiere erscheint aber die folgende Thatsache: Mit Ausnahme des Glaskörpers liegt überall bei den bis jetzt untersuchten Theilen des graminivoren Rindes der Kieselsäurewerth der Trockensubstanz unter dem des menschlichen embryonalen Bindegewebes.

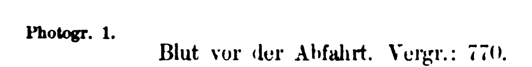
Wenn uns die zahlenmässigen Befunde darüber belehren, dass die Anwesenheit der Kieselsäure aus irgend einem, uns allerdings noch unbekannten Grunde, für bestimmte Gewebe nothwendig ist, und vor allem für das Bindegewebe eine fraglose Bedeutung haben muss, so lernen wir noch eine zweite, nicht weniger bedeutungsvolle Erscheinung kennen, wenn wir die für menschliche Theile erhaltenen Kieselsäurewerthe einmal nach dem Alter ihrer Lieferanten vergleichend anordnen. Die erste der nachfolgenden Zahlenkolonne gibt den Kieselsäurewerth für die Asche, die zweite den für 1 kg Trockensubstanz an:

Muskel, alt:	0,0422 %	0,0191 g,
„ jung:	0,0558 %	0,0257 g,
„ „	0,0612 %	0,0270 g,
Haut, alt:	0,1090 %	0,0385 g,
„ jung:	0,1878 %	0,0510 g,

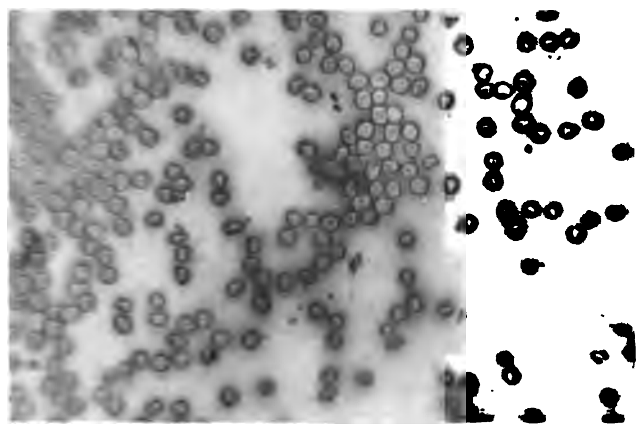
Sehne, alt:	0,1051 %	0,0408 g,
„ jung:	0,4249 %	0,0865 g,
Wharton'sche Sulze:	0,5985 %	0,2436 g.

Diese Uebersicht lehrt: Der Kieselsäuregehalt in Asche und Trockensubstanz ist bei dem gleichen Gewebe in der Jugend des Individuums höher wie im Alter und erreicht seinen höchsten Werth, soweit bis jetzt ersichtlich, im embryonalen Bindegewebe.

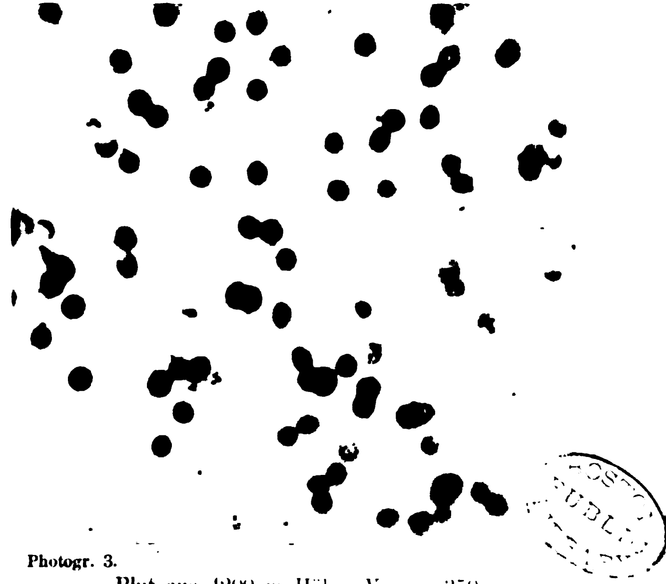
Dass zur weiteren Feststellung und auch Klärung der bisher erreichten Resultate noch grosse Reihen weiterer, insbesondere aber vergleichender Untersuchungen nothwendig sind, wird Jeder zugeben. Gerade für vergleichende Arbeiten dürfte ein positiver Gewinn wohl sicher sein. Es ist vielleicht nicht nur Zufall, dass die von A. Hilger für die Asche der Lederhaut der Holothurien gefundene Kieselsäurezahl von 0,57 % der von mir für die Wharton'sche Sulze bestimmten so nahe liegt.



Photogr. 1.
Blut vor der Abfahrt. Vergr.: 770.

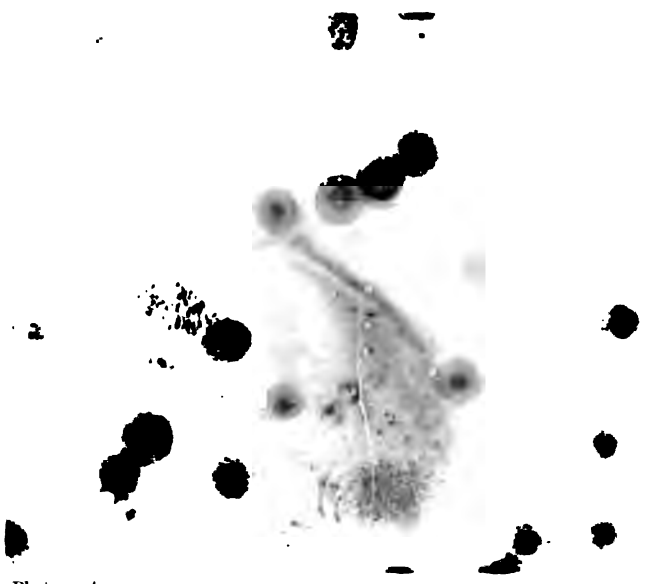


Photogr. 2.
Blut aus 3000 m Höhe. Vergr.: 350.



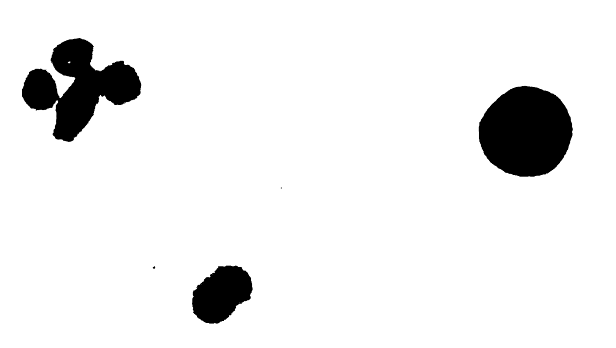
Photogr. 3.
Blut aus 4200 m Höhe. Vergr.: 350.





Photogr. 4.

Blut aus 4200 m Höhe. Vergr.: 770.



Photogr. 5.

Blut aus 4200 m Höhe. Vergr.: 770.

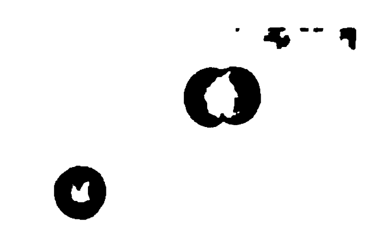
Photogr. 6.

Blut aus 4200 m Höhe. Vergr.: 1300.

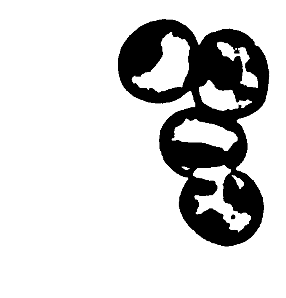
Photogr. 7.

Blut aus 4200 m Höhe. Vergr.: 1300.





Photogr. 8.
Blut aus 4200 m Höhe. Vergr.: 770.



Photogr. 9.
Blut aus 4200 m Höhe. Vergr.: 1300.



Photogr. 10.
Blut nach der Rückkehr. Vergr.: 770.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Zürich.)

Die Blutbildung im Luftballon.

Von

Justus Gaule.

(Mit 2 Textfiguren und Tafel VII.)

1. Vorgeschichte.

Im Sommer und Herbst dieses Jahres hatte ich Gelegenheit, zwei Luftfahrten im Ballon zu machen, deren Resultat mir wissenschaftlich von grosser Bedeutung zu sein scheint. Ich ging ursprünglich nicht in die Luft, um das Blut zu beobachten, und ich will zunächst kurz über die Vorgeschichte meiner Fahrten berichten. Es war die Bergkrankheit, die ich im Anfang im Auge hatte. Seit College Heim uns berichtet hatte, wie sein Befinden in der Wega bei Erreichung von 6000 m Höhe war, verliess mich der Gedanke nicht, dass die Bergkrankheit und das Befinden im Ballon bei Erreichung grosser Höhen gleiche Zustände seien[1]). Dann ist es aber nicht die Ermüdung, welche die Bergkrankheit veranlasst, oder diese Ermüdung fügt nur nebensächliche Züge zu dem Bilde, das auf einer anderen Ursache beruht. Diese Ursache liegt in der Meereshöhe. Beruht sie auf dem verminderten Sauerstoffdruck, oder gibt es in der Höhe noch etwas Anderes? Auf den verminderten Sauerstoffdruck deuteten die Versuche Mosso's[2]), die zu seiner Aufstellung der Alkapnie führten, hin. Wenn aber Mosso Recht hatte, wenn die Bergkrankheit wirklich auf einem Mangel von Kohlensäure beruhte, so müsste doch ein anderes Oxydationsproduct an die Stelle der Kohlensäure treten. Ein anderes Oxydationsproduct, das dem niedrigeren Sauerstoffgehalt der umgebenden Luft entspräche, was könnte das sein? Ich dachte

1) v. Schrötter, Zur Kenntniss der Bergkrankheit (Beitr. z. klin. Med. u. Chir.), und: Zur Kenntniss der Wirkung u. s. w. (Med. Woche Bd. 38. 1901), hat Ballonfahrt und Bergkrankheit schon in Parallele gebracht.

2) Mosso, L'Alcapnie. Compt. rend. Soc. Biologie 1897 p. 293.

an die Milchsäure. Wo zur Bildung des CO_2 für jedes C-Atom zwei Atome O gebraucht würden, sind zur Bildung von $CH_3 \cdot CHOH \cdot COOH$ für jedes C-Atom nur ein Atom O nothwendig. Ich erinnerte mich an Versuche, die ich einst selbst über die Durchspülung des arbeitenden Froschherzens gemacht[1]), wobei dasselbe statt CO_2 ansehnliche Mengen einer festen, nicht flüchtigen Säure bildete. Ich erinnerte mich ferner an die Anwesenheit von Milchsäure in den Muskeln, ihre Vermehrung bei anstrengenden Märschen und beim Athmen in sauerstoffarmen Räumen, wie es Araki gefunden[2]). So machte ich Herrn Dr. Guglieminetti, als dieser mich einst besuchte, um meine Meinung über die Bergkrankheit zu erfahren, mit der Vermuthung bekannt, dass diese auf der Bildung von Milchsäure, statt Kohlensäure, beruhe. Ich schlug ihm vor, diese Vermuthung mit Hülfe des Luftballons zn prüfen, und da Dr. Guglieminetti Herrn Capitän Spelterini, den bekannten Luftschiffer, näher kannte, so vermittelte er unsere Vorstellung. Spelterini aber konnte nicht sofort fahren. Ein aus Frankreich bezogener Ballon konnte nicht entfaltet werden, weil der Lack, mit dem er überzogen war, ihn verklebte, und so musste man auf einen anderen Ballon warten, den eine deutsche Fabrik in Augsburg anfertigte. Auch war die Geldfrage zuerst zu lösen, denn eine Füllung eines Ballons und eine Fahrt mit demselben erfordert beträchtliche Mittel. Zwei Herren, von denen der eine mir erlaubt hat, ihn zu nennen, es war Dr. Hommel, kamen der Wissenschaft zu Hülfe. Ich bemühte mich unterdessen, während ich auf den Ballon wartete, Vorversuche anzustellen, die die Experimente in der Luft vorbereiten und klären sollten. Mit Hülfe einer Körting'schen Wasserstrahlpumpe construirte ich eine pneumatische Glocke, unter der ein Kaninchen bei einem um 200—300 mm verminderten Luftdrucke einige Stunden verbleiben konnte. Ein grosser Ballon ist der Glocke zugefügt, um dem Thiere einen Vorrath von O zu gewähren, von dem während des Versuches nur $\frac{1}{4}$—$\frac{1}{8}$ erschöpft ward. Die der Glocke entnommene Luft wurde durch Barytwasser hindurchgeleitet, um alle von dem Thier ausgeathmete CO_2 an dasselbe abzugeben.

---

1) Gaule, Die Leistungen des entbluteten Froschherzens. Arch. f. Anat. u. Physiol., Physiol. Abth. 1878 S. 309.

2) Araki, Ueber die Bildung von Milchsäure u. s. w. Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 15 S. 335.

Es wurden 4—6 Flaschen Barytwasser vorgelegt, bis die letzte klar blieb. Eine Messung und Titrirung des Barytwassers (durch meinen Assistenten Dr. Höber ausgeführt), unter Vergleichung mit der ursprünglichen Lösung, ergab die während des Versuches von dem Thier gebildete CO_2. Die Entnahme von Luft durch die Körting'sche Pumpe verminderte allmählich den Druck in der Glocke, bis derselbe auf ca. 370—400 mm angelangt war. Man beobachtete an einem Manometer, das mit der Glocke und dem Ballon in Verbindung war, die allmählich ansteigende Verminderung des Druckes in demselben, und der Vergleich mit dem gleichzeitig beobachteten Barometerstand ergab den wirklich im Innern herrschenden Druck. So wie dieser Druck in einem allmählich sich erhebenden Ballon sinkt, so sollte er auch in der Glocke sinken, um schliesslich eine Zeit lang auf dem niedrigen Niveau zu bleiben. Das letztere war allerdings nicht genau richtig. Denn es war nothwendig, die Pumpe weiter arbeiten zu lassen, um die von dem Thier ausgeathmete CO_2 der Glocke zu entnehmen und neuen O aus dem Ballon in dieselbe einzuführen. Durch dieses Arbeiten der Pumpe sank der Druck noch weiter, aber dieses Sinken konnte durch theilweises Zudrehen der Hähne sehr verlangsamt werden. Der Ballon, mit dem die Glocke zu vergleichen war, schwebt ja auch nicht ganz gleichmässig in einer bestimmten Höhe, und so glich dieses Exempel doch der Wirklichkeit. 100—200 mm Druckverminderung vertrugen nun die Kaninchen ohne Veränderung ihres Befindens, dann begannen sie schneller zu athmen. Bei 200—300 mm Druckverminderung wurde dieses Athmen gewaltsam, ihre einzige Beschäftigung, wie es schien, über der sie alles Andere vergassen. Ging die Verminderung weiter, so brachten sie ihre Nasen in die Nähe der aus dem Ballon zuführenden Röhre, als ob sie den hier einströmenden O sofort empfangen wollten. Länger als zwei Stunden konnte man eine solche Druckverminderung nicht durchführen. Im Anfang, als man dies noch nicht wusste, kam es vor, dass ein Kaninchen Krämpfe bekam, der Versuch wurde sofort unterbrochen, das Kaninchen an der Luft des Laboratoriums unter normalem Druck wieder hergestellt und dann ebenso wie die übrigen durch $CHCl_3$ getödtet. Ein andermal musste der Versuch unterbrochen werden, weil der Ballon die Differenz des Druckes nicht vertragen konnte und einen Sprung bekam. Die anderen Versuche gingen glücklich zu Ende, das heisst zwei Stunden, nachdem eine Druckverminderung von 150 mm erreicht

war; 2½—3 Stunden nach dem Verbringen der Kaninchen in die Glocke wurde die Communication mit der Pumpe unterbrochen, die Kaninchen aus der Glocke befreit und dann durch $CHCl_3$ getödtet. Was man zunächst dabei festzustellen beabsichtigte, war die Menge von CO_2, die die Kaninchen bei vermindertem Druck bildeten. Zu diesem Zwecke war die CO_2 durch Barytwasser geleitet worden, und nach bekannten Regeln konnte die Menge der CO_2 aus dem gebildeten $BaCO_3$ bestimmt werden. Die Kaninchen waren gewogen, mit der Uhr war die Zeit bestimmt worden, während der sie einem verminderten Druck ausgesetzt waren und CO_2 abgegeben hatten. So konnte also berechnet werden: 1 kg-Kaninchen gibt in einer Stunde bei 400—500 mm Druck so viel CO_2 ab. Das war nun zu vergleichen mit dem, was 1 kg-Kaninchen in einer Stunde bei dem in Zürich gewöhnlich 720—740 mm betragenden Barometerdruck bildet. Um das zu ermitteln, wurden dieselben Kaninchen, die zu den Druckverminderungsversuchen dienten, vor denselben oder andere nachher, die gleichfalls gewogen waren, in dieselbe Glocke gebracht und die Luft aus derselben durch die gleichen Barytflaschen in gleicher Weise mit der Pumpe herausgesogen. Nur war die Glocke nicht mit dem Ballon verbunden, sondern in freier Communication mit der Luft, so dass sich in ihr kein verminderter Druck herstellen konnte. Die einströmende Luft musste jedoch durch Barytflaschen passiren, um ihre CO_2 abzugeben, damit diese nicht zu der von dem Thier gebildeten sich addiren konnte.

Folgendes sind nun die Zahlen. Bei 1 und 2 sind die Zahlen unter der CO_2-Bildung bei normalem Druck gegeben, die die Kaninchen eigentlich nicht bei normalem Druck, sondern im Beginn der Druckverminderung, als dieselbe noch weniger wie 200 mm betrug, bildeten. Bei 3 ist aber der normale Druck von ca. 730 mm Hg maassgebend.

1 kg-Kaninchen in einer Stunde:

1.	bei ca. 510—350 mm Druck	bei 730—510 mm
	1,812 g CO_2	1,916 g CO_2
2.	bei ca. 550—370 mm Druck	bei 730—550 mm
	0,636 g CO_2	0,720 g CO_2
3.	bei ca. 590—380 mm Druck	
	1,380 g CO_2	1,800 g CO_2.

Warum die Kaninchen so ungleich grosse Mengen von CO_2 hervorbringen, weiss ich nicht. Die Temperatur ist nicht notirt, sie

war aber ziemlich gleich, und da die Versuche Ende Juli angestellt wurden, ziemlich hoch. Alle Kaninchen bildeten übrigens unter vermindertem Druck weniger CO_2 als unter normalem oder höherem Druck. Man kann das auf die geringe O-Menge zurückführen, die ihnen in diesem Fall zu Gebote stand, aber der verminderte O-Druck ist ja eben unzertrennlich von der Erhebung über dem Meeresspiegel. Ob man nun diese Versuche als Bestätigung der Mosso'schen Alkapnie auffassen kann, weiss ich nicht. Mir scheinen es zu wenig Versuche zu sein, und ich begehrte nicht, sie zu vervielfältigen, weil mein Interesse abgelenkt war durch die Frage, die sich für mich jetzt in den Vordergrund drängte: „Ist die Milchsäurebildung vermehrt, wenn die CO_2-Bildung vermindert ist?"

2. Bestimmung der Milchsäure.

Die Kaninchen, welche dem verminderten Druck ausgesetzt worden waren, wurden nach Beendigung dieses Versuches getödtet durch $CHCl_3$, dann enthäutet und ihre Muskeln von den Knochen abpräparirt, unter sorgfältiger Beobachtung der nöthigen Cautelen, damit Alles gewonnen wurde. Es waren im Ganzen vier, die drei, von denen oben die CO_2-Bildung beschrieben wurde, und ein viertes, bei dem die Bestimmung der CO_2-Bildung wegen eines Versuchsfehlers, der aber das Verweilen unter vermindertem Druck nicht beeinflusste, nicht gelang. Diese vier Kaninchen ergaben folgende Muskelmengen: 1. 606 g; 2. 450 g; 3. 400 g; 4. 445 g. Im Verhältniss zu ihrem Körpergewicht ist das: 1. 28,1 %; 2. 28,1 %; 3. 26,7 %; 4. 29,7 %. Die abpräparirten Muskeln wurden dann durch Hacken und Wiegen zerkleinert und aus ihnen nach der von Drechsel modificirten Liebig'schen Methode das milchsaure Zink dargestellt. Es wurden die Cautelen beobachtet, welche Neumeister in seinem Lehrbuch der physiologischen Chemie angibt, und ein fast farbloses Salz erhalten, dessen Krystalle genau der Abbildung in Funke's Atlas glichen. Da es sich nicht um eine absolute Bestimmung, sondern nur um eine Vergleichung handelte, so wurde das gewonnene milchsaure Zink als rein betrachtet und nach entsprechender Trocknung bei 110° gewogen. Folgendes sind die Zahlen, die sich hierbei ergaben:

1. 2,748 g milchs. Zink, bei 110° getr., entspr. 2,011 g Milchsäure u. 0,33 in % d. Musk.
2. 2,573 „ „ „ „ 110° „ „ 1,884 „ „ „ 0,41 „ % „ „
3. 2,189 „ „ „ „ 110° „ „ 1,604 „ „ „ 0,40 „ % „ „
4. 2,240 „ „ „ „ 110° „ „ 1,641 „ „ „ 0,37 „ % „ „

Nun wurde ein fünftes Kaninchen, das keinen verminderten Druck erlitten hatte, sonst aber gleich behandelt war, in derselben Weise getödtet. Die Muskeln wurden abpräparirt und wogen 440 g oder in Procenten des Körpergewichts von 1500 g = 29,2. Aus ihnen wurden ganz in der gleichen Weise dargestellt milchsaures Zink 2,594 g (bei 110° getrocknet), das entspricht 1,810 g Milchsäure oder in Procenten des Muskels = 0,41%.

Somit ergab sich, dass das Aushalten eines verminderten Drucks von 350—400 mm während 1—2 Stunden nicht zu einer Vermehrung des Milchsäuregehalts der Muskeln führte. Die Kaninchen urinirten während des Versuchs nicht, jedoch war die Blase bei der Tödtung in der Regel prall gefüllt. Der Inhalt derselben wurde in einem Falle auf Milchsäure untersucht, ergab jedoch keine wägbare Menge derselben. So musste man von dem Gedanken abkommen, dass an Stelle der abnehmenden CO_2 bei vermindertem O-Druck Milchsäure gebildet werde, und es erhob sich die Frage: wie gestaltet sich der Stoffwechsel denn?

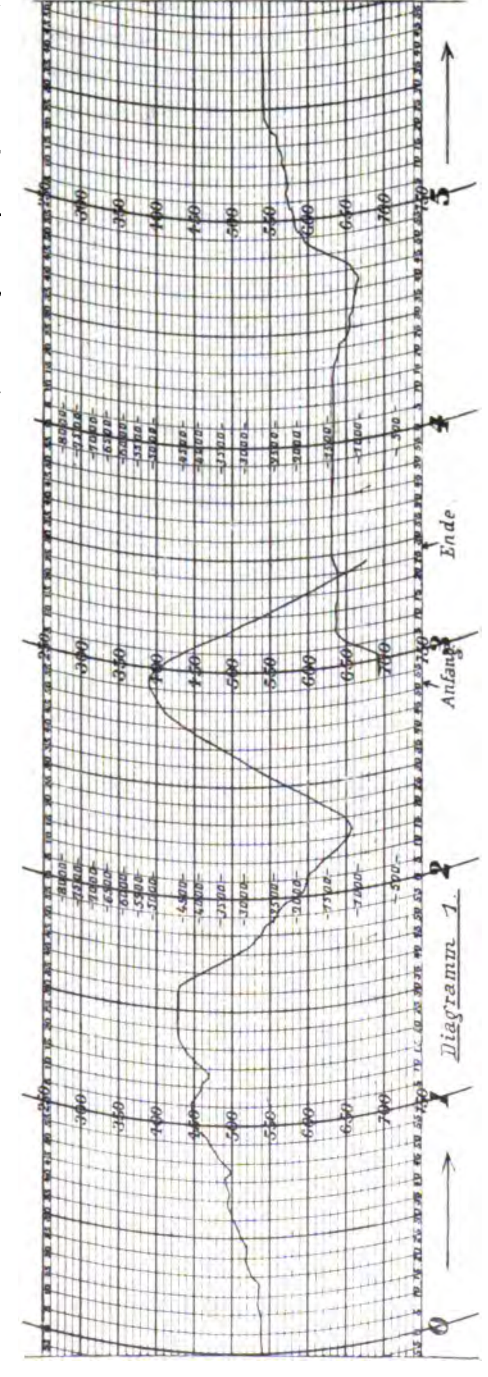
3. Die Auffahrten.

Mein Interesse an den Luftfahrten hatte sich durch die Resultate der Vorversuche etwas vermindert. Unterdessen aber waren die übrigen Vorbereitungen zu denselben vor sich gegangen, der neue Ballon war von Augsburg angekommen, die Gelder zur Füllung desselben waren bewilligt, der Luftschiffer hätte nicht begriffen, wenn ich jetzt nicht mit ihm gefahren wäre. Ursprünglich hatte ich gedacht, einen Apparat zur Bestimmung der ausgeathmeten CO_2 mitzunehmen, sowie Kaninchen für den quantitativen Nachweis der Milchsäure. Die letzteren sollten verglichen werden mit anderen vom gleichen Wurf, die unten blieben. Diese Ermittlungen traten nun für mich in den Hintergrund des Interesses, und ich fragte mich: Welcher Versuch kann mir am besten Auskunft geben über die Veränderungen, welche der Stoffwechsel in einer gewissen Höhe erfährt. Die Bergkrankheit ist nur ein Symptom dieser Veränderung. Da kam mir der Gedanke: „Ist die Vermehrung der Blutkörperchen, welche man in den Anden, in Davos, in Arosa beobachtet hat, auch ein Symptom dieser Veränderung?“ Man weiss nicht, ob sie so schnell vor sich geht, dass man während einer Ballonfahrt etwas von ihr beobachten kann. Wenn das nicht der Fall ist, dann hat sie mit der Bergkrankheit nichts zu thun, denn die kann man auch

während der Ballonfahrt beobachten. Wenn es aber der Fall ist, dann hat man es mit sehr tiefgreifenden Veränderungen des Stoffwechsels in der Höhe zu thun, deren einzelne Factoren nach und nach bekannt werden müssen. Es gilt also einmal das Blut der Probe zu unterwerfen.

Ich beschloss, mich nicht auf die Zählung der Körperchen zu beschränken. Das ist ja nur ein Factor, freilich ein sehr wichtiger, aber wir müssen so viel Factoren wie möglich kennen lernen. So machte ich denn auch ein Hämoglobinometer sowie die Apparate zur Bestimmung des specifischen Gewichts des Blutes nach der Hammerschlag'schen Methode bereit zur Mitnahme. Was immer von den Aenderungen des Organismus in der Höhe bei einem Besuch derselben beobachtet werden konnte, wollte ich beobachten. Sehr sehnte ich mich nun nach einer Hülfe, die nicht bloss die eines Apparates, sondern eines mit beobachtenden Menschen war. Mein Assistent, Dr. Höber, war verreist. So konnte ich auf ihn nicht rechnen; um so willkommner musste es mir sein, als meine Frau sich erbot, mich zu begleiten. Sie war in den Methoden, die unterwegs anzuwenden waren, vollkommen ausgebildet, hatte oft Blutkörperchen gezählt und bei den Vorversuchen, namentlich der Darstellung des Zinklactats, mitgewirkt. Am 10. August sollte der erste Aufstieg von dem Kasernenhof in Zürich vor sich gehen. Wir bestimmten vorher unsere Blutkörperzahl, den Hämoglobingehalt, das specifische Gewicht unseres Blutes, rüsteten Mikroskop und Apparate, sowie die Kaninchen zum Mitnehmen. Indessen der Aufstieg sollte an diesem Tage noch nicht stattfinden. Es riss der Ring, welcher den zuführenden Schlauch mit dem Ballon verband, an diesem neuen Ballon (dessen Construction etwas anders war als die der französischen) ab, Gas trat aus, Luft trat ein, und man betrachtete es als gefährlich, mit diesem Ballon aufzusteigen. Die Situation wurde geklärt durch den anwesenden Dr. Hommel, der sich bereit erklärte, eine neue Gasfüllung zu bezahlen, damit die Expedition ungefährdet unternommen werden konnte. Spelterini reparirte in der Nacht den Schaden und liess den Ballon am nächsten Morgen auf's Neue füllen, während wir abermals in unserem Blute die genannten Grössen vor der Auffahrt bestimmten. Um 12 Uhr gingen wir in die Luft und machten uns auf dem Boden des am Ballon befestigten Korbes zurecht, um unsere Untersuchungen auszuführen. Dieselben begannen etwa um 2 Uhr, nachdem wir zwei Stunden in

der Luft gewesen und eine Höhe erreicht, die nahe 4000 m betrug. Eine schwarze Wolke, die am Horizont aufstieg, veranlasste Spelterini, uns zum Beginn der Arbeit zu mahnen. Ich nahm ein Brett auf meine Knie, wir sassen auf den Ballastsäcken und den mitgebrachten Kisten, in welche nach der beabsichtigten Tödtung die Muskeln der Kaninchen in Gläsern untergebracht werden sollten. Wir begannen mit der Bestimmung des specifischen Gewichtes in Blutstropfen, die wir den Fingerspitzen entnahmen, nach der Hammerschlag'schen Methode, Spelterini offerirte auch sein Blut, was natürlich gern angenommen wurde. Wir fühlten uns alle vollkommen wohl, die Sonne schien warm, so warm, dass Spelterini bemüht war, die Beobachtenden zu beschatten. Nach der Bestimmung des specifischen Gewichts kam die des Hämoglobingehalts. Hier begann unser Erstaunen. Denn obgleich wir nur noch drei Fünftel des O-Drucks von unten hatten, war dieser Hämoglobingehalt gesunken. Das Element des Blutes, welches sich des Sauerstoffs bemächtigen sollte, um ihn den Geweben zuzuführen, war weniger vorhanden, obgleich jetzt die Versorgung mit Sauerstoff schwieriger war. Das ganze Gebäude, welches man sich aufgebaut hatte von der Zweckmässigkeit der Vermehrung der Blutkörperchen in der Höhe, brach damit zusammen. Dabei verspürten wir nicht die geringste Athemnoth. Die Versorgung des Organismus mit seinem Oxydationsmittel schien in ganz genügender Weise vor sich zu gehen. Auch athmeten wir nicht schneller oder tiefer als unten, wenigstens nicht in bemerkbarer Weise. Vielleicht wäre es anders gewesen, wenn wir wirklich Kräfte hätten entwickeln müssen, aber das Maass von geistiger Arbeit, welches mit den Untersuchungen verknüpft ist, die wir machten, wurde uns eben so leicht zu erfüllen wie unten im Laboratorium. Wir mussten jetzt das Mikroskop auspacken, auf dem Brett auf meinen Knien aufstellen und die nöthigen Handgriffe zum Gewinnen der Blutpräparate zum Zählen anwenden. Ich machte die Einstiche und saugte das Blut an, verdünnte, meine Frau schaute in's Mikroskop und zählte, ich schrieb die Zahlen auf, die sie ausrief. Unser Erstaunen wuchs, als ich die Berechnung gemacht hatte. Wir erkannten die Grösse der Zahlen, die wir gefunden hatten. Die Uebereinstimmung bei allen Dreien liess keinen Zweifel, dass wir es hier wirklich mit einer Wirkung der Situation, nicht mit individuellen Kräften zu thun hatten. Und die Zahl der Blutkörperchen war gestiegen, während die Menge des Hämoglobins



gesunken war. Die Blutkörperchen mussten also nicht mehr so viel Hämoglobin enthalten wie unten, sie mussten sich geändert haben. Dabei war ihre Zahl colossal gestiegen in der kurzen Zeit, die wir oben waren. Ein Vergleich mit den unten gewonnenen Zahlen ergab z. B., dass meine Frau an 40 % mehr Blutkörperchen hatte als um 9 Uhr Morgens. Folgendes sind die Zahlen, die wir gewannen:

Spelterini 7 040 000,
Alice Gaule 7 480 000,
Justus Gaule 8 800 000.

Meine eigene Zahl ist so hoch, wie sie vielleicht jemals bei einem Menschen gezählt wurde.

Während diese Zählung gemacht wurde, hatte unser Ballon rasch zu fallen begonnen, und auf die Mahnung unseres Führers packten wir alle Apparate ein, um zur Landung bereit zu sein. Spelterini warf, als wir bis nahe 1000 m heruntergekommen waren, noch einmal Ballast aus, um die Raschheit des Falles zu mildern. Gleichzeitig kamen wir aus dem Wolkenschatten wieder in Sonnenschein, und

zu unserm Erstaunen stiegen wir rascher wie der in die Höhe, als wir gefallen waren. Ich kann nicht besser diesen Weg schildern, als indem ich auf das Diagramm verweise, welches der selbstthätige Barograph[1]) unterdessen in unserm Ballon aufgezeichnet hatte. (Fig. 1.) Wir stiegen bis zu 5300 m, und wir hätten höher steigen können, unserem Befinden, wie auch den ascendirenden Kräften des Ballons nach. Aber der Abend begann zu nahen, und wir hatten die Empfindung, dass eine Aufgabe von grosser wissenschaftlicher Tragweite sich vor uns enthüllt hatte. Sollten wir jetzt noch die Kaninchen tödten, um die Milchsäure in ihren Muskeln zu bestimmen? Wir mussten uns vor Allem bereit machen, vor Eintritt der Dunkelheit zu landen.

So entschlossen wir uns zur Beendigung des heutigen Versuchs und zum Abstieg. Der Ausblick aus dem Ballon belehrte uns, dass derselbe den Rhein überschritten und in der Nähe des Bodensees in der Luft stand. Spelterini zog die Klappe, und nach einer halben Stunde oder früher stürzten die Bauern des badischen Dörfchens Nensingen in den Wald, wo etwas, was aus den Lüften herunterkam, in den Wipfeln der Bäume hängen geblieben war. Für heute war es zu spät, nach Hause zu reisen. Es wurde 10 Uhr, bis der Ballon entleert und geborgen war.

Am nächsten Morgen führte uns der erste Zug nach Zürich zurück, wo die Blutkörperchen von uns Dreien im Laboratorium gezählt, Hämoglobingehalt und specifisches Gewicht des Blutes bestimmt wurden.

Am 13. October theilte mir Capitän Spelterini mit, dass am nächsten Morgen sich wieder eine Gelegenheit finden würde, die Blutuntersuchungen in der Höhe zu erneuern. Dieses Mal war es Herr Wernecke vom Katzensee aus der Nähe von Zürich, der mich und die wissenschaftlichen Apparate mit in die Luft nehmen wollte. Ein Assistent konnte mich dieses Mal nicht begleiten, denn wenn wir über 4000 m steigen wollten, so durften nicht mehr als 3 Personen die Tragkraft des Ballons belasten. Ich hatte einen Augenblick daran gedacht, Mäuse bei der nächsten Luftfahrt mitzunehmen.

Weisse Mäuse aber, die ich einer vorläufigen Zählung ihrer Blutkörperchen unterworfen hatte, zeigten zu wenig unter einander

---

1) Verfertigt von dem Mechaniker Usteri in Zürich.

übereinstimmende Resultate, als dass man die in die Luft mitgenommenen mit den unten gebliebenen hätte vergleichen dürfen. Es erschien zunächst nothwendig, das Gesetz herauszufinden, welches den Blutgehalt verschiedener Individuen beherrscht, und um dieses Gesetz herauszufinden, dazu fehlte es mir an Zeit. Ich beschloss desshalb, auf die Mitnahme von Thieren ganz zu verzichten. Dagegen wollte ich die Veränderungen des Blutes, das, was wirklich an ihm vorging in den Lüften, so genau wie möglich studiren, und so dachte ich daran, den Apparat, den ich früher mitgenommen, in zweierlei Hinsicht zu ergänzen. Nämlich einmal durch Gewinnung von Präparaten zur Bestimmung des Eisens nach der Jolles'schen Methode und zum anderen die Herstellung von mikroskopischen Blutpräparaten in der Höhe. Für die erstere Bestimmung wurde die Capillare des Ferrometers zum Aufsaugen und Abmessen des Blutstropfens, sowie zwei chemische Trockengläschen mit eingeschliffenem Glasstöpsel mitgenommen, in denen die Blutstropfen eintrocknen und heruntergebracht werden. Die weitere Untersuchung auf Eisen konnte ja an diesem eingetrockneten Blut ebenso gut vorgenommen werden wie an frischem. Für die mikroskopischen Präparate entschied ich mich für die Ehrlich'sche Trockenmethode, weil sie die gebräuchlichste ist, und weil sie mir am leichtesten gestattete, im Ballon Präparate anzufertigen. Ich verschaffte mir Deckgläschen von $^1/_{10}$ mm Dicke, die entsprechend gereinigt und mit dem Diamanten gezeichnet wurden, damit man die Präparate nicht verwechsle. Sodann nahm ich eine Mischung von Alkohol und Aether und entsprechende Schalen mit. Nachdem Alles besorgt war, machte ich zunächst Trockenpräparate von meinem eigenen Blut und eben solche nach der Methylviolettmethode zur Beobachtung der Blutplättchen. Die letzteren mussten freilich dann auch getrocknet werden, wobei Alkohol und Aether das Methylviolett wieder auswaschen. Ich tröstete mich aber damit, dass nach dieser Methode die Blutplättchen jedenfalls erhalten werden, und eine spätere Färbung sie wieder sichtbar machen würde. Die Trockenpräparate wurden aufgehoben, um nach meiner Rückkehr mit den im Ballon erhaltenen zusammen weiter behandelt zu werden. Sodann entnahm ich mir Blut zur Eisenbestimmung, das in einem Porzellantiegel seine weitere Behandlung erwartete. Ich bestimmte den Hämoglobingehalt meines Blutes und zählte meine Blutkörperchen. Um $^1/_2$12 Uhr eilte ich in den Kasernenhof, um 12 Uhr stiegen wir auf. Ein Hochnebel

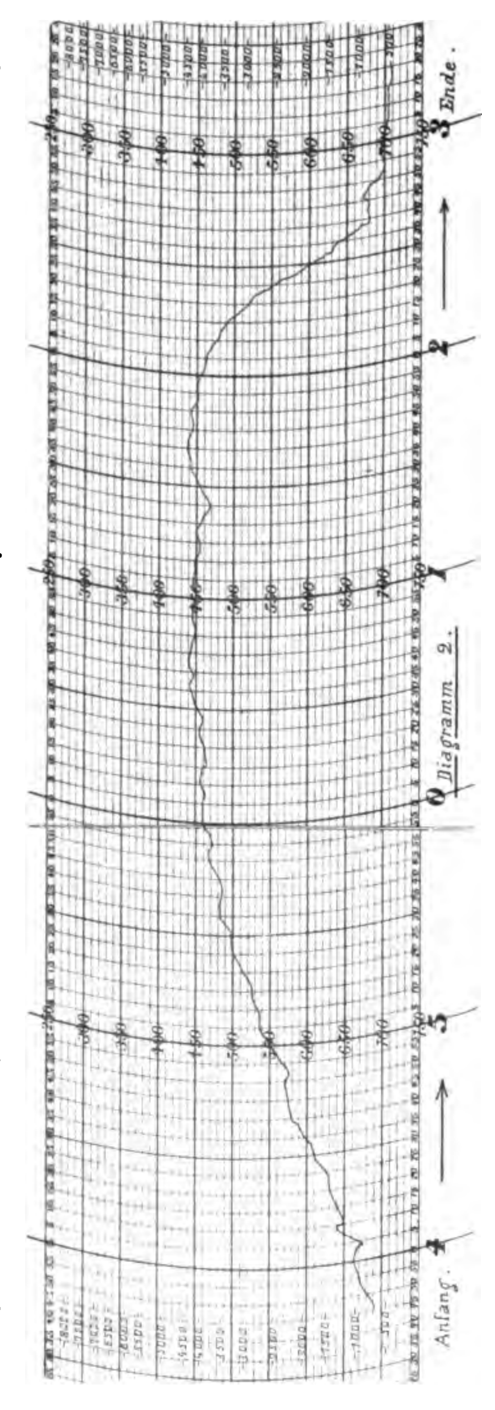
lagerte über Zürich und verdeckte jedes Fleckchen Himmel. In der Höhe von etwa 1000—1200 Meter durchbrachen wir diese Nebel- oder Wolkenschicht und fanden darüber die klarste Luft, fleckenlosen Himmel und strahlenden Sonnenschein. Wir waren vorbereitet auf grosse Kälte in der Höhe, aber das Thermometer in unserem Korb markirte + 20° C. im Sonnenschein und + 6° C. im Schatten. Die weissen Alpengipfel, welche aus dem Nebel hervorragten, das Nebelmeer selbst, die Abgeschlossenheit von der Welt, die durch die trennende Wolkenschicht hervorgebracht wurde, machten auf uns, die wir in den Lüften schwebten, einen wundervollen, merkwürdigen Eindruck, auf den aber hier nicht der Ort ist, einzugehen.

Ich hatte auch nicht allzuviel Zeit, mich diesem Eindruck hinzugeben. Als wir 3000 Meter Höhe erreicht hatten, begann ich meine ersten Blutpräparate zu machen. Es war etwa eine Stunde seit dem Aufsteigen verflossen. An diese Präparate schloss sich die Bestimmung des specifischen Gewichtes von Spelterini's und meine Blute, dann die Hämoglobinbestimmung und endlich die Zählung, als wir 4200 Meter erreicht hatten.

Ich hatte hierbei das Mikroskop auf meinen Knieen und zählte auch. Spelterini oder Wernecke schrieben nach meinem Dictat die Zahlen auf. An die Zählung schloss sich dann die zweite Anfertigung von Blutpräparaten an, nachdem wir 4200 Meter erreicht hatten und etwa vier Stunden in der Luft gewesen waren. Zur Eisenbestimmung konnte ich leider nur 20 cmm bis zum zweiten Theilstrich der Jolles'schen Capillare aufsaugen, und das genügte zur Eisenbestimmung nicht, wie sich nachher zeigte.

Da ich in dem engen Raum des Korbes Alles allein machen musste, hatten mich alle diese Untersuchungen sehr beschäftigt. Die Zeit war rasch verronnen, und Spelterini drängte zum Abstieg. Unter uns lag indessen die Nebelschicht, welche keine Spur von der Erdoberfläche erkennen liess. Wir mussten uns entschliessen, dieselbe zu durchbrechen, um zu erfahren, wo wir uns befanden. Der Ballon sank rasch, als das Ventil gezogen wurde. Bald umfing uns Halbdunkel, als wir in die Wolken eindrangen, dann wurde es wieder hell, und wir erkannten, dass wir uns über einer grossen Wasserfläche befanden. Es war der Bodensee. Nachdem wir ein Fischerboot erspäht, das uns in's Schlepptau nahm, dauerte es noch drei Stunden, bis wir an's Land kamen. Es war finstere Nacht geworden, und zuletzt zogen sieben Boote an dem Ballon, den ein

leichter Wind vom Land abtrieb. Arbon beherbergte uns die Nacht, und der erste Zug führte uns am folgenden Morgen wieder Zürich zu, wo im Laboratorium die vergleichenden Bestimmungen über Eisengehalt, Hämoglobingehalt und das specifische Gewicht des Blutes unternommen, die Zählungen der Blutkörperchen und die Herstellung der Trockenpräparate gemacht wurde. In Bezug auf die letzteren beschränkte ich mich auf mein eigenes Blut, weil ich diese Präparate auch im Ballon nur von mir selbst gemacht hatte. Zu allen übrigen Bestimmungen gab auch Spelterini sein Blut her.



4. Resultate.

Seither habe ich nur flüchtig erwähnt, was wir bei unseren Untersuchungen in der Höhe eigentlich für Resultate hatten. Es kam uns vielmehr darauf an, die Umstände festzustellen, unter denen diese Resultate erzielt wurden. Jetzt sollen dieselben auf ihre Bedeutung discutirt werden. In erster Linie stehen die vermehrten Zahlen der Blutkörperchen.

Bei der ersten Fahrt hatten

Spelterini	7,040,000	in 4100	m Höhe
Alice Gaule	7,480,000	„ 4100	„ „
Justus Gaule	8,800,000	„ 4600	„ „

Bei der zweiten Fahrt hatten

Spelterini	7,040,000	in 4100	m Höhe
Justus Gaule	8,160,000	„ 4200	„ „

Das bedeutet eine gewaltige Vermehrung gegenüber Zürich. Denn es hatten vor der Abfahrt in Zürich

bei der ersten Fahrt

Alice Gaule	am 9. August	5,400,000
	am 10. August	5,280,000
	im Mittel	5,340,000.
Justus Gaule	am 9. August	6,120,000
	am 10. August	7,960,000
	im Mittel	7,040,000.

Nach der Rückkehr hatten

Spelterini	6,320,000
Alice Gaule	6,456,000
Justus Gaule	6,460,000.

Bei der zweiten Fahrt hatte

vor dem Aufstieg

Justus Gaule	7,000,000.

Nach der Rückkehr

Spelterini	5,680,000
Justus Gaule	5,040,000.

Abgesehen von all' den Fragen, die die Schwankungen in der Ebene uns vorlegen, kommt vor Allem die Frage, woher die Vermehrung in der Höhe, welche in der ersten Fahrt bei Justus Gaule die Körperchen bis zur Zahl 8,800,000 hinauftreibt.

Gottstein, Meissen und Schröder werden antworten, das ist nur ein Fehler des Zählapparates, welcher unter dem Einfluss des Luftdruckes sich verändert. Ich werde diesen Einwand erst im nächsten Abschnitt discutiren. Jetzt wollen wir im Sinne aller derer, die mit uns annehmen, dass der Apparat sich in der Höhe nicht verändert, zuerst die Frage discutiren, um welche Variation des Blutes es sich gehandelt haben kann. Die erste Hypothese

lautet, das Blut hat sich concentrirt. Das kann nur geschehen durch Wasserverdunstung, und hierzu sind in der Höhe die Verhältnisse in der That günstig. Wenn aber das Blut Wasser verliert durch solche Verdunstung, und nicht andere Gewebe, dann müsste sich das specifische Gewicht des Blutes erhöhen. Nun wurde das specifische Gewicht des Blutes von mir sowohl in der Höhe wie in der Ebene nach der Hammerschlag'schen Methode bestimmt. Ich fand

in der Höhe von 4100 m bei Spelterini 1062
„ „ „ „ 3300 „ „ Alice Gaule 1053
„ „ „ „ 4600 „ „ Justus Gaule 1053.

Am anderen Tag im Laboratorium
bei Spelterini 1060
„ Alice Gaule 1052
„ Justus Gaule 1053.

Das specifische Gewicht war also in der Höhe nicht wesentlich grösser oder gar nicht grösser als unten. Keinenfalls kann man aus einer Concentration des Blutes die Vermehrung der Blutkörperchen ableiten. Diese Beweisführung hat indessen noch eine Lücke. Es liegt zwischen den Bestimmungen eine Nacht. Während dieser Zeit kann das Plasma an gelösten festen Bestandtheilen genau das gewonnen haben, was die Verminderung der Körperchen wett macht. Um diese Lücke zu ergänzen, bitte ich einen Blick auf die Zahlen meiner zweiten Fahrt zu werfen.

Das specifische Gewicht meines Blutes um 9 Uhr Vormittags vor der Ballonfahrt betrug 1063,5, in der Höhe von 4100 m um 3 Uhr 58 Min. betrug es 1060. — Hier hatten also die Factoren, welche zur Wasserverdunstung führen sollten, auf das Blut eingewirkt, und dessen specifisches Gewicht war nicht gestiegen, sondern gesunken. Und das war fast zur nämlichen Zeit, fast in der nämlichen Höhe, in der die Zahl der Blutkörperchen bestimmt wurde. Es kann also keine Rede davon sein, deren Anwachsen aus der Concentration des Blutes abzuleiten.

Folgt die zweite Hypothese. Es handelt sich um eine Veränderung der Mischung des Blutes, lautet sie. Die in den peripheren Gefässen sich findenden Blutmengen werden reicher an Körperchen. Die Anhänger dieser Hypothese mache ich aufmerksam auf die Hämoglobinbestimmungen, die ich ausführte. Bei der ersten Fahrt fand ich

bei 4100 m Höhe	bei Spelterini	78	mit dem Sahli Gowers-Apparat	
„ 3300 „	„ „ Alice Gaule	60	„ „ „ „ „	
„ 4600 „	„ „ Justus Gaule	80	„ „ „ „ „	

Vor der Abfahrt hatten im Laboratorium

Alice Gaule	am	9. August	80	in Theilen desselben Apparates
„ „	„	10. August	78	„ „ „ „
Justus Gaule	„	9. August	96	„ „ „ „
„ „	„	10. August	100	„ „ „ „

Nach der Rückkehr

Spelterini	am	11. August	83	in Theilen desselben Apparates
Alice Gaule	„	11. August	74	„ „ „ „
Justus Gaule	„	11. August	89	„ „ „ „

Bei der zweiten Fahrt hatten bei 3775 m Höhe

Spelterini 72 } um 3 Uhr 21 Min.
Justus Gaule 75 }

Vor der Abfahrt um 9 Uhr d. M. hatte

Justus Gaule 85.

Nach der Rückkehr hatten

Spelterini 86
Justus Gaule 82.

Also ohne Ausnahme waren bei beiden Fahrten die Hämoglobinmengen in der Höhe geringer, während die Blutkörperchenzahlen grösser waren als vor der Abfahrt und nach der Rückkehr in Zürich. Wenn nun das Blut bloss anders gemischt, die Körperchen dieselben waren in der Höhe wie in der Ebene, so müsste die Hämoglobinmenge sich ebenso verhalten wie die Körperchenzahl. Wenn sie nicht mit dieser anstieg, so konnte das nur daher kommen, dass in der Höhe die Körperchen einen anderen Hämoglobingehalt wie in der Ebene hatten, d. h. dass sie nicht dieselben waren. Noch ein anderer Befund führte zu dieser Annahme. Schon auf meiner ersten Reise findet sich in den Protokollen die Bemerkung, dass in der Höhe die Blutkörperchen etwas anders aussehen bei der Zählung als in der Ebene. Sie seien nicht stechapfelförmig, sondern gross, scheibenförmig. Bei meiner zweiten Reise achtete ich nun besonders hierauf und fand, dass meine wie Spelterini's Blutkörperchen mit derselben Flüssigkeit verdünnt wie im Laboratorium in der Höhe platt, scheibenförmig, gross, in der Ebene

stechapfelförmig, klein aussehen. Die Flüssigkeit, welche ich zum Verdünnen des Blutes beim Zählen gebrauche, ist nun eine 1 %ige NaCl-Lösung. Diese ist nun in der Ebene, wie der Befund lehrt, den Körperchen gegenüber etwas hypertonisch, in der Höhe ist sie es aber nicht. Die Körperchen üben also in der Höhe einen etwas anderen osmotischen Druck aus. Nun existirt eine Arbeit von Hamburger[1]), aus der hervorgeht, dass dieselben Körperchen auch bei verschiedenem Luftdruck denselben osmotischen Druck ausüben. In unserem Falle aber haben wir bei verschiedenem Luftdruck verschiedenen osmotischen Druck. Es können also nicht dieselben Körperchen sein, lautet die Schlussfolgerung. So kommt man zu der dritten Hypothese, die zunächst als die einzig mögliche übrig bleibt; es hat eine Neubildung von Körperchen oder wenigstens eine theilweise Neubildung und eine Veränderung der nicht neugebildeten Körperchen stattgefunden. Hat man hierfür auch einen positiven Beweis? Es ist ja schön, zu sagen, dass auf keine andere Weise die Körperchenvermehrung in grossen Höhen erklärt werden könne als durch eine Neubildung derselben, aber es ist besser, einen Beweis zu haben, ein Document gewissermaassen, dass eine solche Neubildung wirklich geschieht. Als ich einem Collegen nach meiner ersten Fahrt aus einander setzte, dass man nach meinen Befunden eine Neubildung von Körperchen annehmen müsse, antwortete er mir, bis er nicht das Knochenmark eines Luftschiffers vor sich habe und darin die Bildungsstadien sehe, glaube er nicht daran. Das schien verzweifelt.

Aber schon bei meiner zweiten Fahrt zeigten mir die Präparate meines eigenen circulirenden Blutes, die ich da machte, Stadien und Bilder, wie man sie sonst nur im Knochenmark oder bei Embryonen oder bei Kranken findet, und die nicht an dem Process der Bildung von Blutkörperchen zweifeln lassen. Dass sie im Luftballon schon im circulirenden Blute sich finden lassen, dass man da nicht in's Knochenmark hineinzugehen braucht, rührt vielleicht von der Schnelligkeit her, mit der der ganze Process sich abspielt, d. h. von der Massenhaftigkeit, in der die Bildungen auf einmal auftreten müssen.

Doch ich will der Reihe nach die Präparate und Vorgänge beschreiben. Ich habe schon gesagt, dass ich die Ehrlich'sche

1) Hamburger, Influence de la pression etc. Interm. Biol. I, vol. 19 p. 430.

Methode wählte, um Blutpräparate zu machen. Alle meine Präparate wurden 24 Stunden lang mit ganz verdünnter Eosinlösung (5 Tropfen 1 % Eosin in Alkohol auf 4 ccm H_2O) gefärbt, mit H_2O ausgewaschen und dann 3 Stunden lang mit Hansen'schem Hämatoxylin gefärbt, wieder ausgewaschen, getrocknet und trocken in Canadabalsam eingeschlossen.

Es wurden Präparate von meinem Blute vor meiner Abfahrt, aus 3000 m Höhe, aus 4200 m Höhe und an jedem Tage nach meiner Rückkehr bis incl. zum 17. October angefertigt. Sodann wurden noch nachträglich im November Präparate angefertigt, die unter vermindertem Luftdruck in der pneumatischen Glocke trockneten, um zu sehen, ob ausserhalb des Organismus der verminderte Druck einen Einfluss auf die Blutkörperchen ausübe, der an die Bilder aus 4200 m Höhe erinnere. Diese Bilder sind nämlich die interessantesten, und zu ihrer Beschreibung will ich mich sofort wenden. Wo auf diesen Präparaten die Blutkörperchen in grösseren Mengen zusammenliegen, erscheint das Präparat auf den ersten Blick verdorben. Die Blutkörperchen erscheinen leer, es fehlt ihnen die mit Eosin sich roth färbende Substanz, welche z. B. die vollkommen gleich behandelten Präparate des Blutes in der Ebene enthalten. Sieht man kleinere Gruppen von Blutkörperchen, welche leer sind, so entdeckt man zwischen diesen liegend krystallähnliche scharfkantige Gebilde, die sich roth gefärbt haben (s. Fig. 5). Für den, der schon Hämoglobinkrystalle in mikroskopischen Präparaten dargestellt hat, ist das Bild nicht schwer zu deuten. Das Hämoglobin ist aus den Blutkörperchen ausgetreten, und wo das Präparat rasch genug trocknete, ist es unmittelbar neben diesen auskrystallisirt, und die Krystalle haben sich dann mit der Farbe überzogen. Die Blutkörperchen erscheinen leer, weil sie des Hämoglobins, das das Eosin aufnimmt, entbehren. Wo das Präparat nicht rasch genug trocknet, ist das Hämoglobin nicht auskrystallisirt, sondern umgibt als eine körnige Masse die leer gewordenen Körperchen. Es erinnert dieser Befund an den andern, den ich oben erwähnte, dass nämlich in der Höhe der Hämoglobingehalt des Blutes überhaupt abnimmt. Es zeigt, dass die Körperchen das Hämoglobin leichter verlieren als in der Ebene. Das Blut ist ärmer an Hämoglobin als unten, weil die Körperchen im Begriff sind, dasselbe zu verlieren. Wo geht es hin? Vielleicht aus den Gefässen heraus, vielleicht in die Leber oder in die Muskeln. Das sage ich nur, um anzudeuten, dass man sich wohl eine Vor-

stellung davon machen kann, was aus ihm wird, nicht aber, weil ich einen speciellen Anhalt habe. Indessen das Hämoglobin geht aus den Blutkörperchen nicht heraus, ohne dass etwas Anderes in ihnen auftaucht, und die Beschreibung der Körperchen als leer ist streng genommen nicht richtig. Man entdeckt nämlich im Centrum der Körperchen eine nicht scharfe contourirte blaue Substanz. Manchmal hat diese den Charakter eines blauen Flecks, manchmal gehen vielfach sich durchkreuzende blaue Linien durch das Körperchen. Weit bessere Bilder aber bekommt man, wenn man die Masse der Körperchen verlässt und zu den ganz dünnen Schichten hinwandert, in denen die Blutkörperchen fast momentan an das Deckgläschen angetrocknet sind. Hier haben sie das Hämoglobin noch nicht verloren und erscheinen desshalb schön roth. Nicht wenige aber tragen in der Mitte einen mit Hämatoxylin blau gefärbten Fleck, den man nicht anders als Kern bezeichnen kann. Auf der Figur 3, die ein Uebersichtsbild darstellt, kann man sich überzeugen, wie gross relativ die Zahl solcher kernhaltiger Blutkörperchen ist. Die übrigen, die keinen Kern haben, sind roth mit einer dünneren Mitte, entsprechend der biconcaven Scheibenform. Bei denen aber, die einen Kern besitzen, ist dieser von verschiedener Grösse, Lage und Form. Manchmal ist er sehr gross, 4—5 Mal im Durchmesser gegenüber den kleineren Formen (s. Fig. 4). Meist liegt er in der Mitte, aber nicht immer. Manchmal ist die Stelle, in der er liegt, verdünnt. manchmal aber macht es auch den Eindruck, als sei in dem Kern eine Blase vorhanden, um die die gefärbte Substanz nur wie ein Futteral herumliegt. Es geht in dem Kerne etwas vor, aber man kann nicht herausbringen, was. Die Veränderungen, welche das Trocknen hervorgebracht hat, sind nicht zu trennen von denen, welche das Leben hervorrief. Nur so viel können wir eruiren, dass nur Substanzen, welche von vornherein ungleich waren, durch einen gleichartigen Vorgang ungleichartig differenzirt werden konnten.

Manchmal zerfällt der Kern in mehrere Fragmente, wie die Fig. 8 und 9 zeigten, und erinnert an die Bilder, die kürzlich von Jünger[1]) von dem Zerfall des Kernes in Fäden veröffentlicht worden sind. Jünger hat die Blutkörperchen mit Pikrinsäure behandelt, und man kommt auf den Gedanken, dass die Plumpheit der Kernfragmente, welche in meinen Präparaten im Gegensatz zu jenen Jünger'schen

1) Jünger, Deutsches Archiv f. klin. Med. Bd. 67 S. 109.

Kernfäden zu sehen sind, von der Behandlung derselben, von dem Trocknen abhängt. Der Zerfall in Fäden ist nun bei Jünger ein Vorläufer der mitotischen Kerntheilung. Und Theilungsbilder sind auch in meinen Präparaten häufig; zwar wird man momentan den Einwand erheben, woher weiss man, dass es Theilungsbilder sind, wenn die eigentlichen Mitosen fehlen. Aber schon zu allererst muss man fragen, wie soll man sich anders erklären, dass zwischen einer Anzahl isolirter kernloser Körperchen zusammenhängend zwei mit grossen Kernen versehene daliegen. Da muss eine innere Beziehung zwischen diesen beiden Körperchen existiren, eine Beziehung, die an ihre Kerne anknüpft, und eine solche Beziehung kennen wir nur von der Theilung. Wenn man dann weitere Stadien findet, wie das in Fig. 7 gegebene, in dem ein Blutkörperchen in der Mitte eine Einschnürung zeigt, ferner ein solches wie in Fig. 8 mit der Ausbildung einer Scheidewand zwischen den beiden Hälften, und endlich solche wie in Fig. 9 mit gewaltigen fragmentirten Kernen, die sich einander gegenüberstehen, so kann man nicht wohl anders als diese Bilder an einander reihen als successive Stadien der Theilung. Diese Bilder sind gar nicht selten, oft liegen 3—4 solcher Stadien neben einander, und in den Präparaten aus der Ebene fehlen sie eben so vollständig wie die Kerne der Blutkörperchen. So kann man nicht zweifeln, dass die Theilung in der Höhe ein häufiger Vorgang ist, und dass sie mit dem Auftreten der Kerne zusammenhängt. Noch etwas kommt dazu. Bei den Theilungen sehen wir immer eine Vergrösserung mit der Theilung einhergehen. Das ist auch bei den Blutkörperchen der Fall. In Fig. 9 misst z. B. das isolirte Blutkörperchen 7 μ im Durchmesser, die sich theilenden 9 μ.

Das ist ein Vortheil der Photographien, sie sind ganz exact in Bezug auf die Grössen und die Formverhältnisse, wenn sie auch die Farben bis jetzt nicht wiedergeben. Man vergleiche die Zahlen, die bei der Erklärung der Figuren angegeben sind.

In dem Blute, welches den Tag darauf nach dem Niederstieg gewonnen und genau in der gleichen Weise präpärirt war, ist nun das alles wieder verschwunden. Die Blutkörperchen haben keine Kerne mehr, keine Theilungsbilder sind vorhanden, dagegen werden die Körperchen wieder roth gefärbt, behalten also ihr Hämoglobin. Interessant ist es nun, die ganze Reihe sich zu veranschaulichen von den Blutkörperchen, die vor der Abfahrt (Fig. 1), die in 3000 m Höhe (Fig. 2), in 4200 m Höhe (Fig. 3—9) und nach der Rückkunft (Fig. 10) gewonnen wurden.

Vor der Abfahrt war mein Blut in einem Stadium, in dem es eine auch für mich sehr hohe Zahl von Körperchen zeigte. Die Blutkörperchen halten das Hämoglobin nicht sehr fest, sie färben sich nicht stark mit Eosin, und zahlreiche Gebilde, die sich mit Eosin färben und unregelmässig und klein sind, liegen ausserhalb desselben. Vielleicht jedes hundertste Körperchen ist grösser als die anderen und hat sich etwas violett gefärbt, als habe es sowohl Hämatoxylin wie Eosin angenommen. Noch sind keine gesonderten Kerne da, aber schon wird etwas Hämatoxylin in einzelnen Körperchen angenommen (vgl. Fig. 1). In 3000 m Höhe ist nun das Auftreten eines blauen Fleckes in den Körperchen sehr deutlich, und das Roth verlässt dieselben. Aber der blaue Fleck ist nicht scharf contourirt, er ist blass und undeutlich (Fig. 2). In 4200 m Höhe wird der blaue Fleck dunkel, scharf contourirt, gross (Fig. 3 und 4), das Hämoglobin verlässt dieselben leicht, es krystallisirt neben denselben, und die Theilungen treten auf. Den folgenden Tag sind die Kerne wieder verschwunden, gänzlich verschwunden, keine Theilungsbilder sind mehr da, das Eosin haftet wieder an den Körperchen, aber wäre nicht die gleiche Gestalt und Grösse, so würde man denken, ganz andere Gebilde vor sich zu haben. Was ist nun da vorgegangen?

Auf ein Blut, das bereits in einem Stadium begriffen, in dem die Körperchen sehr zahlreich waren, hat der Aufstieg in die Lüfte gewirkt, und dieser Aufstieg hat eine massenhafte Neubildung von Körperchen bewirkt. Diese Neubildung vollzieht sich von den alten Körperchen aus. Diese verlieren Hämoglobin, aber sie nehmen Nucleïn auf. Dieses Nucleïn verdichtet sich in ihnen zu einem Kern, und dieser Kern wird grösser in der Höhe. Es leitet eine Theilung ein, und durch diese wird die Zahl der Körperchen vermehrt, um so mehr, je höher wir steigen. Kommen wir aber wieder herunter, dann hören die Theilungen auf, schon desshalb, weil die Kerne schwinden. Vielleicht werden sie ausgestossen, wie dies Jünger für seine Präparate beschreibt, oder wie dies Tschistowitsch und W. Piwowarow[1]) bei Embryonen gesehen haben. Während aber nun das Nucleïn weggeht, kommt das Hämoglobin wieder in die Körperchen hinein, wie die Hämoglobinbestimmungen zeigen.

---

1) N. Tschistowitsch und W. Piwowarow, Die Morphologie des Kaninchenblutes u. s. w. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 57 (2) S. 335.

Dies gibt mir Veranlassung, mich zur Frage des Hämoglobinbefundes auszusprechen. Es erscheint so unrationell, dass der Hämoglobingehalt des Blutes in der Höhe sinkt, weil gerade das Hämoglobin den Sauerstoff bindet. Man hat die Vermehrung der Blutkörperchen in den Bergen eben abgeleitet von der Nothwendigkeit, in der der Organismus sich befand, dem verminderten Sauerstoffgehalt der Atmosphäre durch eine vermehrte Bindungsgelegenheit im Blute zu begegnen. Nun soll gerade der Stoff im Blute schwinden, der den Sauerstoff bindet, während die Vermehrung der Blutkörperchen doch stattfindet. Ich bin indessen der Ansicht, dass dieses Schwinden des Hämoglobins mit dem Zeitpunkt meiner Untersuchung zusammenhängt. Die Befunde von Suter[1]) und Jacquet[2]) haben die Vermehrung von Hämoglobin im Gebirge constatirt bei Kaninchen, und die neueren Versuche von Jacquet ergeben dasselbe für einen verminderten Druck im Laboratorium. Kündig[3]) hat bei Davoser Patienten die Vermehrung des Hämoglobins beobachtet, und ich habe bei Davoser Gesunden bei einem allerdings nur kurzen Besuch in Davos dort so hohe Zahlen für den Hämoglobingehalt des Blutes gefunden wie niemals in Zürich. Bei einer Person fand ich dort mit dem Sahli Gowers'schen Hämoglobinometer 136 Theilstriche, während ich in Zürich selten über 100, meistens unter 100 Theilstriche an diesem Apparat beobachtete. Meiner Meinung nach ist also auch das Hämoglobin in der Höhe vermehrt, nur braucht es längere Zeit zu dieser Vermehrung, als ich im Ballon blieb. Die erste Zeit ist in Anspruch genommen von der Vermehrung der Blutkörperchen, und hierzu bedarf es der Aufnahme von Nuclein. Zu dieser Aufnahme ist das Weggehen von Hämoglobin ein Correlat. Im zweiten Stadium, wenn die Blutkörperchen vermehrt sind, verschwindet das Nuclein wieder, und das Hämoglobin tritt wieder ein. Bezüglich der Sauerstoffbindung aber gilt schon im ersten Stadium das, was mir Chauveau, mit dem ich in Turin eine Unterredung über die Resultate meiner ersten Fahrt hatte, bemerkte. Auch das

---

1) Suter, Veillon und Karcher, Ueber die Veränderungen u. s. w. Arch. f. exper. Path. Bd. 39 H. 5/6 S. 441.

2) A. Jacquet, Höhenklima und Blutbildung. Arch. f. exper. Pathologie Bd. 45 H. 1/2 S. 1.

3) Kündig, Ueber die Veränderungen u. s. w. Corr. f. Schw. Aerzte. Ich übergehe die grosse Menge von Literatur, die 1897 bereits überall angegeben ist. Siehe auch Kündig's Verzeichniss.

verminderte Hämoglobin erlangt, indem es sich auf eine grössere Anzahl von Körperchen vertheilt, eine grössere Oberfläche, die ihm gestattet, rascher den Sauerstoff in den Lungen aufzunehmen. Der Ort der Bildung meiner Blutkörperchen liegt nun in der Höhe im circulirenden Blute, vielleicht überall gleichmässig vertheilt. Aber das Material hierzu muss in das Blut hineingelangen. Es ist das Material ein doppeltes, einmal das Nucleïn, das vorübergehend auftritt, und dann das Uebrige (Hämoglobin und Stroma), das einen dauernden Bestandtheil ausmacht. Wo kommt das her? Die histologischen Befunde, wie sie uns heute vorliegen, würden auf das Knochenmark hinweisen. Aber das Knochenmark ist nicht massig genug, um das Material zu liefern für die colossale Menge von Zellen, die in kurzer Zeit entstehen.

So will ich denn die Frage, woher das Material zur Blutbildung stammt, der zukünftigen Untersuchung überlassen, und ich wende mich der anderen Frage zu, die Vielen, wie ich mich überzeugt habe, nicht weniger auf den Lippen schwebt: Wo kommt das Material hin? Nach der Rückkehr in die Ebene verschwinden ja die Körperchen wieder, und die Frage ist, was aus ihnen wird. Wenn grosse Mengen Körperchen im Blute plötzlich zu Grunde gehen, so bemerkt man davon allerlei Störungen, z. B. Blutharnen, und man benutzt das als Antwort auf die Frage: Wo kommt das Hämoglobin hin? Von solchen Störungen spürt man beim Herunterkommen aus der Luft nichts und doch müssen colossal viele Blutkörperchen bei mir zu Grunde gegangen sein, denn die Zählungen bei 4200 m Höhe sind ja 8,160,000 und im Laboratorium 5,040,000 am nächsten Tag, also 3,120,000 im cbmm, weniger. Das bedeutet 3120 Millionen im ccm und bei einem muthmasslichen Blutgehalt von 4,9 kg (7 % von 70 kg) 1335 Billionen. Aber das Auftreten von Hämoglobin im Harn bedeutet doch einen pathologischen Zustand, d. h. eine Veränderung des normalen Stoffwechsels. Warum soll bei dem normalen Verhalten das Hämoglobin, so gut wie es sich bildet, auch nicht wieder aufgelöst werden in seine Bestandtheile, und warum sollen diese Bestandtheile nicht anderen Organen zu Gute kommen? Die Tabellen und Curven, welche ich meiner Abhandlung[1]) über die Aenderung des Froschorganismus in der Jahreszeit beigegeben habe,

1) Gaule, Die Veränderungen des Froschorganismus. Dieses Archiv Bd. 87 S. 473.

zeigen uns einen solchen Wechsel fortwährend. Sie kommt uns bloss fremdartig vor, weil sie für die Augen, die sich gewöhnt haben, jedes Organ für sich aus der Nahrung gebildet und zu den Excretionen zerfallend anzusehen, neu ist.

5. Sind die hier angegebenen Resultate zuverlässig?

Freilich, wird man sagen, sind sie das, sie unterstützen einander ja; die Blutpräparate zeigen die Körperchen kernhaltig, wie wir es bei Bildungszuständen des Blutes gewohnt sind zu sehen, sie enthalten zahlreiche Theilungsstadien, und diese müssen ja zu einer Vermehrung der Blutkörperchen führen. Die Zählungen daneben ergeben eine solche gewaltige Vermehrung in der Höhe. Ich möchte aber nicht bloss, dass das eine Resultat durch das andere gehalten wird. Ich möchte, dass jedes für sich steht. An der Glaubwürdigkeit der Blutpräparate, der Figuren, die ich hier beifüge, wird man nicht zweifeln können. Und wer etwa die Berechtigung, die gesehenen Bilder als Theilungsstadien anzusehen, in Zweifel zieht, möge 1. ein Mal eine andere Erklärungsart für die Bilder angeben, 2. dieselben vergleichen mit den Jünger'schen Bildern von Theilungen der rothen Blutkörperchen im Blute Leukämischer.

Dagegen werden gegenüber den Zählungen alle die Zweifel aufsteigen, die Gottstein[1]), Meissen[2]) und Schröder[3]) erheben in Bezug auf die Zahlen der Blutkörperchen im Gebirge. Die alte Thoma-Zeiss'sche Zählkammer hat ja einen vom Luftdruck abhängigen Fehler, wie Gottstein und Schröder in ihrer jüngsten Arbeit[1]) sagen, und mit dieser alten Thoma-Zeiss'schen Zählkammer (nicht mit einer Meissen'schen Schlitzkammer) sind ja die Resultate im Ballon gewonnen. Vergebens hat man diesen Autoren opponirt, vergebens haben Turban[4]) mit einem 3,5 dicken Deckgläschen, welches den behaupteten Fehler der Durchbiegung des Deckgläschens ausschloss, oder Meyer[5]) mit Hefepräparaten gezählt.

---

1) A. Gottstein und J. Schröder, Ist die Blutkörpervermehrung u. s. w. Berl. klin. Wochenschr. Bd. 37 S. 27 u. 59.

2) Meissen, Antikr. Bemerkungen u. s. w. Therap. Monatsh. Bd. 14 S. 284.

3) J. Schröder, Münch. med. Wochenschr. 1898 Nr. 4 S. 42.

4) Turban, Münch. med. Wochenschr. Nr. 10. 1899.

5) Meyer, Münch. med. Wochenschr. Nr. 13. 1900. Ich citire hier nur die neuesten Arbeiten.

Der Erstere fand mit einem solchen Deckgläschen in Davos dieselben hohen Zahlen wie früher mit den dünneren, aber das beweist nichts, denn ein solch' dickes Deckgläschen legt sich nicht richtig auf, sagt Meissen[1]). Der Letztere fand bei einem Material, das nicht Blut ist, dieselben Zahlen in Davos und Basel, und wenn der Luftdruck eine Vergrösserung der Kammer bedingt, hätte er doch in Davos mehr finden müssen. Aber seine Resultate widerstreiten denen Gottstein's, und so steht Behauptung gegen Behauptung, sagen Gottstein und Schröder[2]). Triumphirend berichten diese Letzteren über ihre Versuche, die sie in Schömberg (650 m) und Berlin (50 m) anstellten. Sie mischten Blut mit Hayem'scher Lösung, die es erhält, und schickten Präparate das eine Mal von Berlin nach Schömberg, das andere Mal von Schömberg nach Berlin. Dasselbe Blut wurde also an beiden Orten gezählt, beide Male mit der gewöhnlichen Kammer, und es ergaben sich Differenzen in den Zählungen der beiden Orte. Im Blute können diese Differenzen nicht liegen, denn es wurde ja dasselbe Blut gezählt, also können sie nur in dem Zählapparat liegen, d. h. dieser arbeitet in der Höhe von 650 m anders als in der von 50 m.

Nun stimmen aber beide Versuche nicht überein. Das erste Mal wurde in Berlin im Mittel gezählt 918, in Schömberg 1181. Die Differenz war also 263 oder 28,6 %. Das zweite Mal wurde in Berlin im Mittel gezählt 1176, in Schömberg 1336,1; die Differenz war also 160,1 oder 13,6 %. Wenn nun die Verschiedenheit auf einem physikalischen Einfluss auf die Zählkammer beruhen sollte, so ist nicht recht einzusehen, warum die Differenz so verschieden ausfallen sollte. Die Experimentatoren kommen der Erklärung zu Hülfe. Eigentlich hat man auch nicht genau das Gleiche gezählt an beiden Orten, sagen sie, man musste das Blut erst schütteln, um die Mischung der Körperchen mit der Flüssigkeit herzustellen. Und weil man das nicht beide Male in beiden Orten in der gleichen Weise gethan, entstand die Differenz zwischen beiden Versuchen. Das verschiedene Schütteln erklärt also die Differenz zwischen 28,6 und 13,6 %, also von 15 %. Ja, warum sollen sich da die ersten 13,6 % nicht auch erklären, möchte ich hinzufügen, das ist ja noch weniger?

1) Meissen, Die Abhängigkeit der Blutkörperchenzahl u. s. w. Therap. Monatshefte 1899 S. 522.

2) Gottstein und Schröder, Ist die Blutkörpervermehrung u. s. w. Berl. klin. Wochenschr. 1900 S. 587.

Ich war neugierig, als ich die stolzen Worte las, mit denen z. B. Schröder seine Abhandlung in der Münchener medicinischen Wochenschrift[1]) Nr. 42 1898 begleitete, den mechanischen Fehler des Zählinstrumentes doch irgendwie, irgendwo nachgewiesen zu bekommen, doch ich sah daraufhin die Abhandlungen vergeblich durch. So beschloss ich diese Prüfung selbst vorzunehmen. Die einzige Art, wie bei einem gleichbleibenden Gehalt des Blutes an Körperchen die Zählkammer im Gebirge mehr aufweisen kann wie in der Ebene, ist die, dass im Gebirge ein grösserer Raum als Einheit angenommen wird als in der Ebene. Da nun die auf der Grundfläche in das Glas eingeritzte Theilung sich durch den Luftdruck nicht ändern kann, so kann es sich bloss um die Höhe des Raumes handeln. Diese würde durch eine Durchbiegung des Deckgläschens eine Aenderung erfahren, und zwar würde bei geringem Luftdruck, wenn eine weniger schwere Luftsäule auf demselben lastet, der Abstand des Deckgläschens von der Grundfläche, also die Höhe der Kammer, sich vergrössern. Sie würde nicht $^1/_{10}$ mm, sondern entsprechend mehr betragen.

Ob das richtig ist, kann man nun prüfen, und ich kam in meinem Bestreben, das zu thun, auf folgende Anordnung.

Ein Tropfen einer Flüssigkeit in die Kammer gebracht, wird in derselben ein während der Zeit der Beobachtung unveränderliches Volum einnehmen, vorausgesetzt, dass die Flüssigkeit incompressibel ist. Die Grösse dieses Volums kann man aus dem Product Grundfläche mal Höhe mit genügender Annäherung bestimmen. Jedenfalls muss, wenn die Höhe sich vergrössert, sich die Grundfläche verkleinern, und umgekehrt. Wenn man die Kammer unter ein Mikroskop bringt, so werden die entstehenden Differenzen entsprechend vergrössert, und ein in das Ocular eingelegter Quadratocularmikrometer gestattet, die Grösse der Grundfläche genau abzulegen. In die Zeiss'sche Zählkammer brachte ich nun zuerst einen Tropfen von einer Flüssigkeit, die keine Adhäsion zum Glase hat, d. h. von Quecksilber. Die Adhäsion sollte hier ganz ausgeschaltet sein und der Tropfen, soweit er nicht abgeplattet wird,

1) Die Worte lauten: „Früher, als im Gebirge ein solch' gewaltiger Anwachs von Erythrocyten festgestellt war, reihte sich Arbeit an Arbeit aus den verschiedenen Stationen, um die neue Thatsache zu verkünden; jetzt, wo man event. gezwungen ist, die schönen Zahlen zu Gunsten eines einfachen mechanischen Fehlers des Zählinstrumentes zu verkleinern, schweigen die Untersucher.

die Kugelgestalt annehmen. Zum Zweiten brachte ich hinein eine Flüssigkeit, welche Adhäsion zum Glase hat, deren Tropfen also die Gestalt von zwei zusammenhängenden Kugelcalotten annehmen wird. Ich wählte eine durch Auskochen von Gas befreite Nigrosinlösung. Zum Dritten brachte ich in die Zählkammer dieselbe verdünnte Blutmischung, welche man beim Zählen gebraucht, damit der Tropfen genau dieselbe Viscosität besitze wie bei den bestrittenen Versuchen. Wie wurde nun die Verminderung des Druckes bewirkt? Ich habe schon beschrieben, wie ich bei den Vorversuchen im Institut eine grosse Glasglocke herstellen liess, aufgeschliffen auf einer Glasplatte und in Verbindung einerseits mit einer Körting'schen Pumpe, andererseits mit einem Manometer. Unter diese Glasglocke wurden nun Mikroskop und Zählkammer gebracht, und durch das Glas der Glasglocke konnte man in das Mikroskop hineinblicken und bei entsprechend vorher getroffener Einstellung genau den Umriss des Tropfens an dem Ocularmikrometer ablesen. Die Anzahl von Theilstrichen, welche derselbe in zwei auf einander senkrechten Durchmessern hatte, war bei den meisten Versuchen von zwei Beobachtern unabhängig von einander abgelesen und aufgeschrieben. Nur die letzte Versuchsreihe wurde nur von einem Beobachter ausgeführt.

Nachdem so der Querschnitt des Tropfens bei der Höhe der Kammer unter normalem Druck festgestellt war, wurde durch Laufen der Pumpe ein verminderter Druck in der Glocke hergestellt. Die Verminderung betrug etwa 350—380 mm, so dass der Druck in der Glocke im Mittel nur noch 730—350—380 mm betrug. Es wurden so die maximalen Werthe der Druckverminderung, die man im Ballon erreichte, zur Probe herangezogen. Bei dieser Druckverminderung wurde nun abermals die Grösse des Querschnittes im Mikroskop am Quadratnetz des Ocularmikrometers abgelesen und aufgeschrieben. Sodann wurde durch Einlassen von Luft in der Glocke der normale Druck wieder hergestellt und zum dritten Male abgelesen. Folgendes sind nun die Resultate.

Versuche mit Quecksilber:

1. Norm. Druck 736 mm	Querschnitt	6,5 · 6,5	= 42,25	Brü
	„	6,3 · 6,3	= 39,69	Ga
Erniedrigung um 310 mm 426 mm	„	6,0 · 6,0	= 36	Brü
	„	6,0 · 5,8	= 34,89	Ga
2. Norm. Druck 736 mm T. 24,2 mm	„	8,4 · 8,1	= 68,04	Ga
	„	8,4 · 8,0	= 67,2	Brü

Erniedrigung um 375 mm, also 361 mm		
T. 23,7	Querschnitt 8,4 · 8,1 = 68,04	Ga
	„ 8,4 · 8,0 = 67,2	Br
Norm. Druck wieder hergestellt, also 736 m,		
T. 23,7	„ 8,4 · 8,1 = 68,04	Ga
	„ 8,4 · 8,0 = 67,02	Br

Versuche mit Nigrosin:

1. Norm. Druck 736 mm	Querschnitt 7,6 · 6,4 = 48,64	Br
	„ 7,5 · 6,3 = 47,25	Ga
Verminderung um 380 auf 356 mm	„ 6,9 · 6,8 = 46,92	Br
	„ 7,1 · 6,8 = 48,28	Ga
Norm. Druck wieder hergestellt	„ 6,8 · 6,5 = 44,20	Br
	„ 6,8 · 6,6 = 44,88	Ga
2. Norm. Druck 736 mm	„ 8,7 · 8,8 = 76,56	Br
	„ 8,6 · 8,7 = 74,82	Ga
Verminderung um 350 auf 386	„ 8,6 · 8,7 = 74,82	Ga
	„ 8,7 · 8,7 = 75,69	Br
Norm. Druck wieder hergestellt	„ 8 6 · 8,7 = 74,82	Br
	„ 8,4 · 8,6 = 72,24	Ga

Zu diesen Resultaten ist Folgendes zu bemerken. Im ersten Versuch haben wir eine Verkleinerung des Querschnittes des Quecksilbertropfens erhalten, aber in diesem Versuche hatten wir die Erniedrigung der Temperatur, welche eine Luftverdünnung begleitet, zu berücksichtigen vergessen. Diese Erniedrigung hat bei der Empfindlichkeit des Quecksilbers gegen Temperaturveränderungen wohl eine Verkleinerung des Tropfens (wie bei dem Quecksilber des Thermometers) bewirkt. Wir führten bei den folgenden Versuchen ein Thermometer in die Glasglocke ein, aber da wir diese Versuche rascher ausführten und eine Lampe gegenüber dem Spiegel des Mikroskops aufstellten, so kam es zu keiner nennenswerthen Verkleinerung des Tropfens mehr. Man wird daher den ersten Versuch am besten ganz ausser Betracht lassen, keinenfalls kann er zur Erklärung des Plus an Blutkörperchen in der Höhe, die einem Druck von 426 mm entspricht, herangezogen werden. Denn um diese zu erklären, müsste der Querschnitt des Tropfens sich um mindestens 60 % verkleinert haben, die beobachtete Verkleinerung betrug aber nur 16 %. Da alle übrigen, sorgfältiger ausgeführten Versuche diesem ersten widersprechen, so ist man gezwungen anzunehmen, dass eine Durchbiegung des Deckgläschens, d. h. eine Vergrösserung der Höhe der Zählkammer, nicht stattfand, auch wenn man den Luftdruck um mehr als die Hälfte verminderte.

Ich füge hinzu die Resultate, die man mit verdünntem Blute gewann, das in der Zeiss-Thoma'schen Mischpipette in der gewöhnlichen Weise mit 1 %iger NaCl-Lösung vermischt wurde. Es wurden hierbei zweierlei Versuche ausgeführt, indem das eine Mal das Deckglas trocken auf den Rand gelegt wurde, das andere Mal auf den Rand eine ganz minimale Flüssigkeitsschicht gebracht und dort die Newton'schen Ringe erzeugt wurden.

Deckglas trocken.

Normal-Druck 736 mm	7,8 · 8,0 =	62,4
Verminderung um 350 auf 386 . . .	7,8 · 8,0 =	62,4
Wiederherstellung des Normal-Druckes	7,7 · 7,9 =	60,8

Newton'sche Ringe.

736 mm	11,4 · 10,0 =	114,0
Verminderung um 330 auf 406 . . .	11,2 · 10,2 =	114,2
Wiederherstellung des Normal-Druckes	11,4 · 10,3 =	117,4

In beiden Fällen erzeugt also die Verminderung des Luftdruckes keine nennenswerthe Veränderung des Querschnittes des Tropfens, also auch keine Veränderung in der Höhe der Kammer. Es ist leicht einzusehen, warum hier die doppelte Anordnung getroffen wurde. Wenn die Newton'schen Ringe am Rande hergestellt wurden und sich, wovon man sich überzeugen konnte, bis zum Schlusse des Versuches erhielten, so konnte sich keine Communication mit der Umgebung durch den Rand hergestellt haben, also auch keine Ausgleichung des Druckes zwischen dem Innern der Kammer und der Umgebung. Das war bei der ersteren Anordnung sehr wohl möglich, und wenn bei beiden Anordnungen der Tropfen unter vermindertem Druck gleich gross blieb, so bewies dies um so sicherer, dass keine Durchbiegung des Deckgläschens stattfand.

Hatten nun schon die seitherigen Versuche ein sicheres Resultat ergeben, so erhob sich doch noch der Wunsch, ein Präparat in der Kammer bei verschiedenen Drucken zu zählen, um zu sehen, ob die Verminderung ein verschiedenes Resultat ergibt. Das erschien möglich, wenn man die pneumatische Glocke ein klein wenig änderte und sie oben mit einer abgeschliffenen Spiegelglasscheibe bedeckte. Wenn man durch Ausziehen des Tubus des Ocular des Mikroskops dicht unter dieselbe brachten, konnte man in dasselbe hineinsehen, wie unter gewöhnlichen Verhältnissen. Blut, Kammer und Mikroskop waren also in der Glocke, der Beobachter ausserhalb desselben.

Die Theilung der Kammer war allerdings nicht in genügender Ausdehnung scharf sichtbar, wohl aber ein Ocularquadratnetz, und eine Zählung konnte nun stattfinden: 1. bei normalem Drucke, 2. bei vermindertem Drucke, den man unter der Glocke herstellte, 3. wieder bei zurückgekehrtem normalem Drucke. Wenn die Zeiss-Thoma'sche Kammer sich wirklich bei der Verminderung des Luftdruckes änderte, wenn die hohen Zahlen, wie Meissen, Gottstein, Schröder annehmen wollen, wirklich von einem mechanischen Fehler des Apparates herrühren, so mussten sie bei dieser Anordnung sich zeigen. Folgendes sind nun die Zahlen, die wir erhielten.

		Ga	Br
1.	Normal-Druck . , . .	186	210
	Verminderung um 200 m	„ 183	„ 219
	Normal-Drnck	„ 175	„ 218
2.	Normal-Druck	„ 309	„ 321
	Verminderung um 280 m	„ 285	„ 315

Die Zahl bedeutet die Anzahl der Blutkörperchen, die von den Feldern des Quadratnetzes im Ocular eingeschlossen war. Das Blut war in der gewöhnlichen Weise verdünnt. Bemerkenswerth ist, dass beide Beobachter nicht die gleiche Zahl für dasselbe Gesichtsfeld zählten, dass aber ihre Zahlen unter sich übereinstimmen. Wahrscheinlich differirten sie bezüglich der auf den Rändern liegenden.

Es gestattete diese Anordnung, nun auch die Blutkörperchen zu beobachten, während der Druck von einem Niveau zum anderen überging. Hätte sich hierbei die Zählkammer verändert, so hätten doch die Blutkörperchen in Bewegung gerathen müssen. Sie blieben aber vollkommen ruhig.

Ich habe bis hierher diese Prüfungen mitgetheilt, um zu zeigen, dass ich keine Controle versäumte, welche die Vermehrung der Blutkörperchen in der Höhe ausser Zweifel setzte. Nunmehr werde ich aber bezüglich der Zählkammer gerne Dr. Brünings das Wort lassen, welcher sich auch die Erforschung des Unterschiedes zwischen der Meissen'schen und der alten Kammer zur Aufgabe gesetzt hat.

6. Ursachen.

Man ist gewöhnt, den geringeren Sauerstoffdruck als die Ursache der Veränderung des Blutes anzusehen, weil der Zusammenhang zwischen beiden rationell erscheint. Aber ich habe vorhin

schon darauf aufmerksam gemacht, dass das Hämoglobin, welches den Sauerstoff bindet, in der Höhe zunächst nicht vermehrt erscheint. Es mag ja späterhin zu einer solchen Bildung kommen, aber sie ist nicht das Primäre. Das In-die-Luft-steigen löst als Primäres etwas Anderes in Organe aus, etwas, was mit dem Nucleïn, das in die Blutkörperchen geht, zu thun hat. Dieses Primäre ist das von der Erhöhung des Organismus in der Luft direct abhängige. Ich trenne diese Erhöhung in der Luft von der Verminderung des Luftdruckes, weil sie vielleicht nicht ganz dasselbe sind. Zwar die Verminderung des O-Druckes ist beiden gemeinsam, aber daneben gibt es bei dem Emporsteigen in der Luft noch etwas Anderes. Die wenigen Versuche, über die wir verfügen, lassen erkennen, dass das Verhalten in der pneumatischen Kammer des Laboratoriums und in der Höhe bei gleicher Verminderung des Luftdruckes nicht ganz übereinstimmt. Nun gibt es in der Höhe noch etwas, was anders als in der pneumatischen Kammer des Laboratoriums ist, das ist das elektrische Potential. Vergeblich habe ich mich bemüht, über dieses etwas Genaueres zu erfahren; es ist nicht leicht, in den Ballons elektrische Messungen anzustellen. Neuerdings liegen eine Reihe Beobachtungen vor, die in den Mittheilungen von Börnstein[1]) zusammengestellt sind. Leider geben diese Beobachtungen noch kein übersichtliches Bild, und es ist mir nicht klar, ob nicht die Nähe des Hochgebirges mit seinen Spitzen einen besonderen Einfluss auf den elektrischen Zustand der Luft macht. Gerne hätte ich auf meiner letzten Luftfahrt gleichzeitig mit dem Zustand des Blutes auch den des elektrischen Potentiales beobachtet, allein es fehlte zur Vorbereitung wie zur Ausführung an Zeit. So musste ich es der Zukunft überlassen, eventuell alle Beziehungen zwischen dem elektrischen Zustand der Luft und dem des Blutes aufzudecken.

Schlussfolgerungen.

Man wird rasch bereit sein, eine therapeutische Folgerung aus meinen Erfahrungen zu ziehen. Wer blutarm ist, soll im Ballon aufsteigen, da bekommt er neue Blutkörperchen. Ich möchte aber doch darauf aufmerksam machen, dass, wie der Organismus sich rasch an

1) R. Börnstein, Die Luftelektricität. Sep.-Abdr. Herausg. von Assmann und Berson, Wissenschaftl. Luftfahrten.

die Höhen anpasst, er dies ebenso an die Tiefen thut. Meine erste Luftfahrt hinterliess eine kleine Nachwirkung bei allen Theilnehmern, aber meine zweite ergab am nächsten Tag bei Spelterini und bei mir eine sehr niedrige Zahl von Blutkörperchen. Die drei Stunden, welche wir am Abend, nach Einbruch der Dunkelheit, schon kalt im Korb des Ballons zubrachten im Schlepptau der Ruderer, die uns in den Hafen brachten, mögen da ungünstig eingewirkt haben. Nach 4 Tagen war bei mir wieder die Zahl von 5 auf 6 Millionen angestiegen.

Wenn man aber so die Luftballonfahrt als therapeutisches Mittel zur Ergänzung von Blutkörperchen aufgibt, so möchte ich doch auf sie ein grosses Gewicht legen, weil sie beweist, wie rasch der Organismus den auf ihn wirkenden Einflüssen folgt, wie rasch er sich anpasst, wenn die Einwirkung in der richtigen Weise geschieht. Die Luftballonfahrt ist ein Experiment von unschätzbarem Werth. Hier kann man sehen, wie rasch der Organismus Zellen bilden kann, und wie er gehorcht, wenn man ihn in richtiger Weise anspornt. In Turin[1]) habe ich gesagt, dass man den Organismus nicht betrachten dürfe als eine Maschine mit einem unveränderlichen Gerüste, die die Kräfte aus der Nahrung entwickle. Hier hat man ein Beispiel der Veränderlichkeit dieses Gerüstes. In Hamburg[2]) habe ich aus einander gesetzt, wie die Zellbildung und Zelltheilung nur die Formen seien, in denen sich die Entwicklung des Organismus vollzieht, dass wir aber nach den Kräften suchen müssen, die diese Zellbildung und Zelltheilung beherrschen. Hier sehen wir ein Experiment, bei dem die Zellbildung und Zelltheilung eintritt unter dem Einfluss von Kräften, die wir zu erforschen streben, die wir theilweise schon kennen. In meinen beiden Vorträgen, in allen meinen Arbeiten habe ich mich erhoben gegen die Ansicht, die Reinke[3]) in seinem Hamburger Vortrage repräsentirte, indem er sagte, es gebe im Organismus dienende Kräfte und herrschende, solche, welche die Arbeit leisten, und solche, welche den Bau der Organe bewirken. Die

---

1) Gaule, Ueber den periodischen Ablauf des Lebens. Dieses Archiv Bd. 87 S. 538.

2) Gaule, Neues von den trophischen Kräften u. s. w. Dieses Archiv Bd. 87 S. 552.

3) Reinke, Vortrag auf der 73. Versammlung der Naturforscher in Hamburg.

ersteren seien unserer Erkenntniss zugänglich, die letzteren nicht. Nein, eine solche Trennung gibt es nicht. Hier sehen wir, wie die Entfesselung der Kräfte, die den Organismus einer neuen Umgebung anpasst, gleichzeitig neue Zellen bildet. Welches sind hier die dienenden Kräfte, welches die herrschenden? Eine einzige Causalkette umfasst sie beide. Der Organismus ist wirklich, wie ich in Turin[1]) sagte, ein chemisches Laboratorium, gebildet von dem chemischen Process, der in ihm sich abspielt. Aendert sich dieser chemische Process, so ändert sich auch das Laboratorium.

Wer freilich die Grundlagen seiner Anschauung gelegt hat, in der Weise, wie es die moderne medicinische Bildung thut, wird dieser Reform nicht ganz folgen wollen und können. Die Wände, die Mauern des Laboratoriums stellt er sich gebildet vor von den Zellen. Und diese Zellen leben nach Analogie der frei lebenden Zellen, denen sie ähnlich sind. Der ganze Organismus ist ihm ein Zellenstaat, sein Leben eine Resultirende des Lebens seiner einzelnen Zellen. Ich habe Vieles dagegen zu sagen. Aber ich möchte hier nur eines hervorheben. Gegenüber den frei lebenden isolirten Zellen muss es doch einen Vortheil bieten, wenn die Zellen in einer Gesellschaft zusammenleben. Und dieser Vortheil muss sich äussern in dem Tempo, in dem die Veränderungen, die Anpassung an die Umgebungsbedingungen stattfinden.

Gerade die vorliegende Arbeit wird die Anhänger der — sagen wir einmal — alten Zellentheorie in ihrer Auffassung bestärken, indem sie zeigt, dass auch die Blutkörperchen, die einzigen Gebilde, die sich dieser Theorie nicht ganz zu fügen schienen, Kerne bekommen, wenn sie sich fortpflanzen, und dass sie sich vermehren durch denselben Vorgang, den wir auch bei den übrigen Zellen kennen, den der Theilung. Aber, werden sie fragen, wo bekommen die Blutkörperchen so schnell den Kern her? Ueberall, wo wir die Bildung eines solchen beobachten, bei frei lebenden Zellen, braucht es dazu doch lange Zeit. Dem muss ich entgegnen: Die Bildung einer Form braucht nur eine verschwindende Zeit, wie das momentane Auskrystallisiren der übersättigten Lösungen beweist, wenn ein Keim in sie hineingebracht wird. Was Zeit braucht, ist die Bildung der Substanzen, welche die Form annehmen sollen. Diese Substanzen

1) Gaule, D. Arch. B. 87 p. 538.

bildet die isolirt lebende Zelle allmählich in sich, das Blut aber bekommt sie von den Genossen überliefert, mit denen es zusammenlebt, die es durchströmt. Sind diese Substanzen in die Körperchen eingedrungen, dann finden sie in diesen die Keime, mit denen sie momentan die Kerne bilden können. Darauf beruht die Anpassung an die Bedingungen, unter die wir den Organismus setzen, darauf beruht die Hoffnung, diese Bedingungen so auslesen zu lernen, dass wir die Bildungsvorgänge der Zellen in ihm beherrschen.

Erklärung der Tafel VII.

Fig. 1. Blut, das vor der Abreise dem Finger von J. G. entnommen wurde. Vergrösserung 4 mm. Obj. 8 Ocul. 770 im photogr. Apparat. Die Blutkörperchen haben eine helle Mitte. Einzelne Blutkörperchen färben sich heller, andere dunkler.

Fig. 2. Blut im Ballon in der Höhe von 3000 m eine Stunde nach der Abfahrt gewonnen. Aus vielen Blutkörperchen beginnt das Hämoglobin (bei der Präparation?) auszutreten, und in denselben zeigt sich in der Mitte ein mit Hämatoxylin blass-blau gefärbter Fleck. Schwache Vergrösserung, nicht ganz 350.

Fig. 3. Blut im Ballon in der Höhe von 4200 m, drei Stunden nach der Abfahrt gewonnen. Der Kern zeigt sich als dunkelblauer, scharf contourirter Fleck. In einigen Fällen bloss punktförmig, in anderen gross. Schwache Vergrösserung (350), um die Zahl der kernhaltigen, im Verhältniss zu den kernlosen, zu zeigen.

Fig. 4. Blut aus 4200 m. Starke Vergrösserung, um die Grösse und Lage des Kernes deutlich zu zeigen.

Fig. 5. Krystallisation des ausgetretenen Hämoglobins.

Fig. 6. Blut aus 4200 m Höhe. Immers. 2 mm Zeiss. Das Blutkörperchen ist gross, misst 9,2 μ im Durchmesser, während die anderen bei der gleichen Behandlung nur 7 μ im Durchmesser haben. Der Kern fragmentirt, erstes Theilungsstadium undeutlich.

Fig. 7. Blut aus 4200 m Höhe. Immers. 2 mm Zeiss. Das Blutkörperchen ist eingeschnürt, eine Scheidewand beginnt sich auszubilden, zweites Theilungsstadium.

Fig. 8. Blut aus 4200 m Höhe. 4 mm Zeiss. Schwächere Vergrösserung als 6, 7 und 9. Die Scheidewand hat sich deutlich ausgebildet, zwei Kerne treten hervor. Drittes Theilungsstadium. Querdurchmesser 9 und senkrecht zur Scheidewand 12,3 μ, daneben ein Körperchen mit 7,5 μ Durchmesser nicht in der Theilung begriffen.

Fig. 9. Blut aus 4200 m Höhe. Immers. 2 mm Zeiss. Die Körperchen haben sich fast vollständig getrennt. Zwei fragmentirte Kerne (Tochtersterne?) stehen einander gegenüber. Viertes Theilungsstadium. Querdurchmesser 9 und senkrecht zur Trennungsebene 14,6 μ. Daneben ein sich nicht theilendes Körperchen 7 μ Durchmesser.

Fig. 10. Blut nach der Rückkehr, am andern Tag. Die Körperchen reich an Hämoglobin, färben sich gleichmässig und lassen keine Differenzirung erkennen. 4 mm Zeiss. Vergr. 770.

Die Mikrophotogramme sind von Dr. Brünings angefertigt.

(Aus dem k. k. physiol. Institut der böhm. Universität in Prag.)
[Vorstand des Institutes Prof. Dr. Mareš.]

Ueber die Wärmeregulation bei Neugeborenen.

(Respirometrische und calorimetrische Versuche.)

Von

Dr. **Edward Babák,**
Assistent des Institutes.

Wir erlauben uns hiermit die Ergebnisse unserer respirometrischen und calorimetrischen Versuche mitzutheilen, welche den Zweck hatten, die Verhältnisse der Thermoregulation in den ersten Stunden und Tagen nach der Geburt zu erforschen.

I. Ueber die Methoden.

Zur Bestimmung des Gaswechsels bedienten wir uns eines Regnault'schen Respirationsapparates, welcher zugleich als Calorimeter verwendet wurde. Die Beschreibung des Respirometers befindet sich in Scherer's Arbeit „Die Respiration des Neugeborenen und Säuglings“ (Jahrb. für Kinderheilkunde 1896).

Der Sauerstoffverbrauch wurde bestimmt: 1. durch die Messung des aus Dr. Elcan's Bombe (nach Maassgabe eines mit dem Respirationsraume communicirenden Manometers) zugeleiteten Sauerstoffs; 2. durch die Analyse der Luft im Respirationsraume nach dem Versuche.

Die Kohlensäure-Ausscheidung wurde bestimmt: 1. durch die Analyse der in Natronlauge absorbirten Kohlensäure (nach dem bekannten Verfahren von Pflüger, sein Archiv Bd. 29 S. 216. 1882); 2. durch die Analyse der Luft des Respirationsraumes nach dem Versuche (dieselbe wurde mittelst Pyrogallussäure-Lösung und Natronlauge durchgeführt).

Zur Bestimmung der ausgestrahlten Wärme bedienten wir uns eines Compensationscalorimeters mit constanter Temperatur nach D'Arsonval (Archives de physiologie 1890); seine Beschreibung ist in der Abhandlung von Prof. Mareš (Bulletin international de l'Acad. des sciences de Boh. 1900) enthalten. Zur Abführung der ausgestrahlten Wärme wurde das Wasser aus der städtischen Wasserleitung verwendet; sein Zufluss wurde durch einen elektrischen Regulator automatisch regulirt.

Um die Grenzen der Genauigkeit des complicirten Apparates zu constatiren, haben wir zwei Reihen von Probeversuchen unternommen. In der einen liessen wir Aethylalkohol im Respirationsraume verbrennen; und wir fanden im Durchschnitte seine Verbrennungswärme für 1 g 7179 Ka gegen die angegebene Zahl 7183,6 Ka (also — 0,2 %). Der mögliche Fehler in der Bestimmung des Sauerstoffverbrauches beträgt (durchschnittlich) — 2 %. Die Bestimmung der Kohlensäure kann nach diesen Versuchen, sowie nach denjenigen, wo wir eine bekannte Menge von CO_2 in den Respirationsraum eingeführt haben und dann zu bestimmen suchten, $\pm$ 6 % betragen.

Jeder Versuch dauerte 2½—3 Stunden, ohne die Zeit einzurechnen, welche erforderlich war, um das Wärmegleichgewicht des Apparates abzuwarten. Das Kind war entweder in dem üblichen Federbette (oder doppeltem, wattirtem Flanellgewande) eingewickelt oder, wenn es sich um die Einwirkung der Kälte handelte, nur in einige Tücher gehüllt; eine dicke Schicht von schlechtem Wärmeleiter (Tuch) wurde dem Kinde untergelegt, um die Abkühlung des Körpers durch Wärmeleitung zu verhindern. — Die Körpertemperatur wurde am Anfange und am Ende des Versuches im Rectum gemessen.

II. Versuche an neugeborenen Kindern.

Wir verdanken es dem Herrn Prof. Dr. Rubeška, Vorstand der Klinik und Director des königl. Landesgebärhauses, dass uns neugeborene Kinder gleich nach der Geburt zugestellt wurden, und zwar gesunde Kinder, deren Versorgung musterhaft ist.

A) Wir führen zuerst die Versuche vor, welche in verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt wurden, und in denen die Kinder in üblicher Weise eingehüllt waren.

Kind 1. Tabelle I.

Nummer des Versuches	Alter	Tag des Versuches	Durchschnittstemperatur d. Zimmers	Temperatur im Respirationsraume	Körpertemperatur	Gewicht	Auf 1 kg in 1 Stunde: O_2-Verbrauch (ccm)	Auf 1 kg in 1 Stunde: CO_2-Abgabe (ccm)	Auf 1 kg in 1 Stunde: Calorien	Respir.-Quotient	Bemerkungen
1	1 Stunde	22. Febr.	10,1	13,4	34,6	2930	662	342	2,392	0,518	Norm. gehüllt
2	1 Tag	23. „	10,0	12,5	35,8—35,3	2810	840	468	3,587	0,558	—
3	2 Tage	24. „	10,0	12,2	36,7—36,4	2660	870	528	3,700	0,607	—
4	3 „	25. „	8,4	11,6	35,5—35,0	2610	1014	516	5,015	0,509	—
5	6 „	28. „	6,8	11,1	35,9—35,5	2620	928	518	4,407	0,556	—
6	8 „	2. März	8,9	12,2	36,3—36,1	2630	928	536	3,914	0,578	—

Kind 2. Tabelle II.

Nummer des Versuches	Alter	Tag des Versuches	Durchschnittstemperatur d. Zimmers	Temperatur im Respirationsraume	Körpertemperatur	Gewicht	O_2-Verbrauch (ccm)	CO_2-Abgabe (ccm)	Calorien	Respir.-Quotient	Bemerkungen
7	1½ Stunde	3. März	10,1	12,2	33,0—33,1	2670	552	368	3,018	0,666	—
8	1 Tag	4. „	10,6	13,1	35,8—33,4	2470	694	416	3,369	0,598	—
9	2 Tage	5. „	10,4	14,6	35,9—34,3	2460	804	522	3,327	0,648	—
10	3 „	6. „	8,2	11,8	34,6—34,3	2480	802	490	3,526	0,610	—
11	5 „	8. „	9,3	12,0	36,2—33,5	2550	756	514	4,466	0,678	—
12	8 „	11. „	11,0	13,7	35,9—34,7	2650	826	528	4,731	0,638	—

Kind 3. Tabelle III.

Nummer des Versuches	Alter	Tag des Versuches	Durchschnittstemperatur d. Zimmers	Temperatur im Respirationsraume	Körpertemperatur	Gewicht	O_2-Verbrauch (ccm)	CO_2-Abgabe (ccm)	Calorien	Respir.-Quotient	Bemerkungen
54	16 Stunden	19. Juni	21,2	22,8	35,5—35,2	3270	520	284	1,908	0,547	—
56	1 T. 12 St.	20. „	21,4	23,1	35,6—35,4	3110	578	342	2,928	0,591	—
58	3 Tage	21. „	21,7	23,6	35,9—36,2	3130	560	318	2,162	0,568	—
(60)	4 „	22. „	21,6	22,8	(36,3—34,8)	3170	(614)	(382)	(3,096)	(0,605)	Entblösst
62	8 „	26. „	20,7	23,2	36,5—36,4	3500	538	286	1,646	0,531	Norm. gehüllt

Kind 4. Tabelle IV.

Nummer des Versuches	Alter	Tag des Versuches	Durchschnittstemperatur d. Zimmers	Temperatur im Respirationsraume	Körpertemperatur	Gewicht	O_2-Verbrauch (ccm)	CO_2-Abgabe (ccm)	Calorien	Respir.-Quotient	Bemerkungen
23	16 Stunden	12. Juni	18,6	20,2	36,7—36,6	3060	602	372	3,087	0,619	—
25	1 T. 16 St.	13. „	18,4	20,2	36,5—36,6	2780	662	458	3,124	0,693	—
26	2 „ 16 „	14. „	17,2	19,6	36,8—36,7	2720	636	396	2,816	0,618	—
28	3 „ 16 „	15. „	17,0	19,2	37,1—36,9	2750	588	422	3,161	0,717	—
29	4 „ 16 „	16. „	17,0	18,8	36,4—36,1	2850	620	580	3,136	0,937	—
31	7 „ 16 „	19. „	19,0	21,6	36,7—37,0	2930	687	508	3,203	0,740	—

Auf den ersten Blick erscheint ein Unterschied zwischen den Versuchsreihen Tab. I und II und denjenigen der Tab. III und IV. Die Kinder 1 und 2 zeigen in den ersten Stunden nach der Geburt eine sehr niedrige Körpertemperatur (34,6 ° und 33,0 °) und einen niedrigen Gasaustausch im Vergleich mit dem Gaswechsel der folgenden Tage. Berücksichtigt man die bedeutenden Schwankungen der Körpertemperatur (welche auch in der Zeit zwischen den Versuchen in der Gebäranstalt constatirt wurden) und die wechselnde Wärmestrahlung in den einzelnen Versuchen, so kann man von einer ungenügenden Wärmeregulation sprechen. Da die Körpertemperatur der Kinder im Ganzen mit dem steigenden Gaswechsel wächst und dabei grössere Wärmemengen abgegeben werden, ist es einleuchtend, dass es sich um die Thätigkeit der chemischen Wärmeregulation handelt (d. h. um die Steigerung der Wärmeproduction). Wenn man bildlich sprechen will, kann man von einer gesteigerten (physiologischen) Verbrennung sprechen; besser ist es, den gesteigerten Gaswechsel für den Ausdruck der verstärkten Muskelthätigkeit überhaupt zu halten.

Dass die Körpertemperatur trotz dem intensiveren Gaswechsel nicht constant hoch sich erhält, zeugt davon, dass hier die physikalische Wärmeregulation mangelhaft ist: wir denken uns unter diesem Begriff die Einrichtungen, durch welche die Strahlungsfähigkeit der Hautoberfläche u. s. w. zweckmässig modificirt wird. Und in der That sehen wir, dass bei dem Kinde 2 die Wärmeverluste immer grösser werden (Vers. 7—12), so dass die ausgiebige chemische Wärmeregulation nicht ausreicht, die Körpertemperatur constant zu erhalten. Dasselbe ist der Fall beim Kinde 1 bis zum Vers. 5, wo die Wärmeabgabe schon vermindert ist, noch mehr im Vers. 6. Hier greift also schon die physikalische Wärmeregulation ein, demgemäss verringert sich die Wärmestrahlung, erhebt sich die Körpertemperatur, und dies kann geschehen, obwohl die Intensität des Gaswechsels (als Ausdruck der chemischen Regulation) abnimmt.

Diese Folgerungen werden durch die Serien Tab. III und IV gestützt.

Die Kinder 3 und 4 zeichnen sich im Vergleich mit den Kindern 1 und 2 im Ganzen durch höhere und constantere Körpertemperatur aus. Der Gaswechsel zeigt bei Weitem nicht so grosse Schwankungen, wie sie bei den Kindern 1 und 2 zu sehen sind; ja, man kann fast

sagen, dass der Gaswechsel der Kinder 3 und 4 in den ersten Stunden nach der Geburt und an den folgenden Tagen nahezu gleich bleibt (wir müssen aber in der Reihe 3 den Vers. 60 übergehen, weil sich hier das Kind theilweise entblösst hat; über diese Einwirkung der Kälte sind weitere Versuchsreihen nachzusehen). Zum Vergleich stellen wir folgende Zahlen:

	O_2-Verbrauch nach der Geburt	Durchschnittl. O_2-Verbrauch am 2. bis 8. Tage	Zuwachs des O_2-Verbrauches in %
Kind 1	662	916	38 %
Kind 2	552	776	40 %
			im Durchschnitt 39 %
Kind 3	520	558	7 %
Kind 4	602	638	6 %
			im Durchschnitt 6,5 %

Die Schwankungen der Körpertemperatur im Laufe des Versuches (und nach Angaben der Gebäranstalt) sind bei den Kindern 3 und 4 weit geringer als bei den Kindern 1 und 2. Wenn wir die Thätigkeit der chemischen Regulation nach den Zahlen des O_2-Verbrauchs beurtheilen, so wäre in den Serien 3 und 4 eine sehr geringe chemische Regulation vorhanden. Und den Grund dieser Erscheinung sehen wir in der genügenden Thätigkeit der physikalischen Wärmeregulation: Die Wärmeverluste sind beim Kinde 4 nach der Geburt und an den folgenden Tagen fast gleich; beim Kinde 3 erscheint nach vorübergehender Erhöhung der Wärmeausstrahlung eine bedeutende Senkung derselben.

Wir schreiten nun zu denjenigen Versuchsreihen, wo die Verhältnisse der Wärmeregulation verwickelter sind.

(Siehe die Tab. V, VI und VII auf S. 159.)

Die Versuchsreihe 5 zeigt am zweiten Tage nach der Geburt des Kindes eine kleine Steigerung des Gaswechsels und der Wärmeabgabe, am dritten Tage ist diese Steigerung kleiner, am vierten und fünften Tage wieder grösser. Es handelt sich also um eine Erscheinung, welche wir durch die chemische Regulation bei ungenügender physikalischer Regulation erklären. Am achten Tage sinkt der Gaswechsel unter die gleich nach der Geburt gefundene Grösse: dies zeugt vom Auftreten der physikalischen Wärmeregulation, welche die chemische fast überflüssig macht.

Kind 5. Tabelle V.

Nummer des Versuches	Alter	Tag des Versuches	Durchschnittstemperatur d. Zimmers	Temperatur im Respirationsraume	Körpertemperatur	Gewicht	Auf 1 kg in 1 Stunde: O_2-Verbrauch (ccm)	CO_2-Abgabe (ccm)	Calorien	Respir.-Quotient	Bemerkungen
33	1 Stunde	17. Juli	22,3	23,5	34,8—36,5	3860	502	370	1,534	0,733	Norm.
35	1 Tag	18. „	21,5	22,9	37,0—36,8	3740	610	430	2,516	0,703	—
37	2 Tage	19. „	22,5	23,8	37,2—37,0	3610	547	397	2,336	0,725	—
39	3 „	20. „	22,6	23,9	37,1—37,3	3670	632	488	2,791	0,772	—
40	4 „	21. „	23,1	24,7	37,1—37,4	3670	696	621	3,277	0,892	—
42	7 „	24. „	24,4	25,5	37,0—37,1	3680	478	332	2,068	0,693	—

Kind 6. Tabelle VI.

Nummer des Versuches	Alter	Tag des Versuches	Durchschnittstemperatur d. Zimmers	Temperatur im Respirationsraume	Körpertemperatur	Gewicht	O_2-Verbrauch (ccm)	CO_2-Abgabe (ccm)	Calorien	Respir.-Quotient	Bemerkungen
17	6 Stunden	31. Mai	16,1	17,9	36,2—36,0	3750	626	490	2,976	0,782	—
18	1 Tag	1. Juni	16,9	18,4	36,6—36,4	3460	742	516	3,364	0,694	—
19	2 Tage	2. „	18,3	20,0	37,2—37,1	3330	596	416	3,456	0,698	—
20	3 „	3. „	18,3	20,5	36,7—36,4	3400	528	384	3,016	0,727	—
21	5 „	5. „	19,2	21,6	36,5—36,3	3500	476	384	2,664	0,807	—
22	8 „	8. „	19,9	21,6	36,7—36,5	3650	516	416	3,444	0,805	—

Kind 7. Tabelle VII.

Nummer des Versuches	Alter	Tag des Versuches	Durchschnittstemperatur d. Zimmers	Temperatur im Respirationsraume	Körpertemperatur	Gewicht	O_2-Verbrauch (ccm)	CO_2-Abgabe (ccm)	Calorien	Respir.-Quotient	Bemerkungen
44	10 Stunden	21. Mai	12,2	14,1	34,8—33,5	2860	524	270	2,828	0,516	—
46	1 T. 10 St.	22. „	13,1	15,5	36,3—36,0	2710	804	498	4,875	0,619	—
48	2 „ 10 „	23. „	14,6	16,8	35,8—35,0	2680	656	362	4,084	0,550	—
50	4 „ 10 „	25. „	17,3	18,8	36,2—36,2	2750	571	315	3,350	0,552	—
52	7 „ 10 „	28. „	17,9	20,0	36,6—36,8	2820	625	386	2,450	0,618	—

In der Serie 6 erscheint dieses Uebergewicht der physikalischen Regulation schon am dritten Tage nach der Geburt, und gleichzeitig tritt die Steigerung des Gaswechsels zurück, ja, wir sehen vom dritten Tage an durchwegs einen weit geringeren Gasaustausch im Vergleich mit den ersten Stunden nach der Geburt und dem zweiten Tage.

Die Versuchsreihe 7 ist minder instructiv, da die Temperatur des Mediums vom 21. Mai bis 28. Mai um 6° gestiegen ist. Nichtsdestoweniger können wir Folgendes bemerken: Es kehrt der am zweiten Tage überaus gesteigerte Gaswechsel am fünften Tage annähernd zu derjenigen Grösse zurück, welche nach der Geburt gefunden wurde, was davon zeugt, dass die physikalische Regulation Oberhand gewinnt.

Bei unseren Betrachtungen über die Verhältnisse des Gaswechsels und der Wärme-Ausstrahlung bei Kindern in der ersten Woche nach der Geburt gelangten wir zu einer solchen Auffassung der Wärmeregulation, dass ihre chemische Seite (Steigerung der Wärmeprocesse) mit der physikalischen (Wechsel der Strahlungsfähigkeit der Haut u. s. w.) im Antagonismus steht; und zwar der Art, dass die chemische Wärmeregulation durch die sich entwickelnde physikalische Wärmeregulation eingeschränkt wird. Wir können noch eine weitere Folgerung aus den bisher mitgetheilten Versuchsreihen ziehen: wenn die physikalische Regulation ungenügend ist, reicht auch die kräftigste chemische Wärmeregulation nicht aus, um die Körpertemperatur auf constanter Höhe zu erhalten.

Es gibt gewiss bemerkenswerthe individuelle Unterschiede in der Ausbildung der physikalischen Wärmeregulation. Wir können hier auf die Ereignisse denken, welche das Nervensystem des Neugeborenen in der ersten Zeit nach der Geburt erlebt, und welche besonders auf dem anatomischen Gebiete gefunden wurden. Das Kind, welches ungenügende, z. B. morphologische Einrichtungen zur erfolgreichen physikalischen Regulation besitzt, wird bedeutende Schwankungen der Körpertemperatur aufweisen (je nach der Temperatur der Umgebung und aus unbekannten inneren Gründen); seine Körpertemperatur wird überhaupt niedrig sein; auch der verstärkte Gaswechsel (die gesteigerte Thätigkeit der chemischen Wärmeregulation) kann die Körpertemperatur constant auf normaler Höhe nicht erhalten, da die gesteigerte Wärmeproduction durch die (nach Newton's Gesetze) erhöhte Wärmeabgabe paralysirt wird. Wo-

gegen die entwickeltere physikalische Wärmeregulation die Wärmeverhältnisse viel besser beherrscht.

Wir müssen auch die Umgebungstemperatur berücksichtigen. Die Versuchsreihen 1 und 2 wurden bei niedriger Temperatur durchgeführt (12,1 ° und 12,9 °), 3 und 4 bei viel höherer (23,1 ° und 19,9 °). Dass aber bei diesen Erscheinungen nicht nur die Temperatur des Mediums, sondern auch die Individualität mitspielt, dies ist aus den Versuchsreihen 5, 6 und 7 ersichtlich, wo die verschiedenen Uebergänge zwischen den Serien 1 und 2 auf der einen, 3 und 4 auf der anderen Seite zu finden sind.

Es wird vortheilhaft sein, unsere Ergebnisse nach den Umgebungstemperaturen zu ordnen, indem wir aus jeder Versuchsreihe die Durchschnittswerthe berechnen:

Tabelle VIII.

Durchschnittswerthe aus den Versuchsreihen	Durchschnittstemperatur des Zimmers	Durchschnittstemperatur im Respir.-Raume	Durchschnittswerthe auf 1 kg in 1 Stunde			Respir.-Quotient
			O_2-Verbrauch	CO_2-Abgabe	Calorien	
5	22,7	24,0	578	439	2,420	0,753
3	21,2	23,2	562	320	2,348	0,568
6	18,1	20,0	581	434	3,153	0,752
4	17,8	19,9	632	456	3,088	0,721
7	15,0	17,1	636	366	3,517	0,571
2	9,9	12,9	739	473	3,739	0,639
1	9,0	12,1	874	484	3,836	0,554

Trotzdem, dass unsere Versuchsreihen von verschiedenen Individuen herrühren, können wir bemerkenswerthe Regelmässigkeiten auffinden. Je niedriger die Umgebungstemperatur ist, desto grösser ist der Sauerstoffverbrauch und die Wärme-Ausstrahlung. Natürlich ist hier keine Proportionalität zu constatiren: von 17,1 ° bis 23 ° beträgt z. B. die Verminderung der Wärmeverluste mehr als 1 Cal., von 12,1 ° bis 17,1 ° nur 0,3 Cal. Doch können wir schon daraus Langlois' Angabe bezweifeln, dass es bei den Kindern ein Optimum der Wärme-Ausstrahlung bei 18 ° gäbe. — (Die CO_2-Abgabe schwankt ganz unregelmässig, wie es schon von jeher bekannt ist.)

Wir können jetzt unsere Ergebnisse mit Scherer's Beobachtungen vergleichen. Er gibt an, dass gewöhnlich am zweiten Tage nach der Geburt eine Steigerung des Gaswechsels zu bemerken ist. Seine Schlussfolgerung stützt sich auf Durchschnittszahlen der Ver-

suchsreihen an verschiedenen Kindern annähernd desselben Alters. Unsere Versuche verfolgen den Gasaustausch bei demselben Kinde während der ganzen ersten Woche nach der Geburt. Da wir aber auch die ausgestrahlte Wärme gemessen haben, so können wir mehr aussagen. Die Steigerung des Gaswechsels in den ersten Tagen nach der Geburt erscheint uns als Zeichen einer ausgiebigen Thätigkeit der chemischen Wärmeregulation, welche aber ausbleibt oder früher oder später zurücktritt, je nachdem gleich nach der Geburt oder etwas später die physikalische Wärmeregulation ihre Thätigkeit entwickelt. Im Winter, bei einer Durchschnittstemperatur des Respirationsraumes von 12,5°, ist selbst bei sehr guter Umhüllung der Kinder die physikalische Wärmeregulation ungenügend, und die chemische Regulation kann trotz intensiver Thätigkeit die Körpertemperatur constant nicht erhalten. Im Sommer aber, wo an die Wärmeregulation überhaupt nicht so grosse Anforderungen gestellt werden, reicht bei manchem Neugeborenen die vorhandene physikalische Regulation aus, um die Abkühlung des Körpers zu verhindern; ein ander Mal ist aber dazu noch eine mässige Thätigkeit der chemischen Wärmeregulation erforderlich, welche dann immer mehr in den Hintergrund tritt, als die physikalische Regulation ausgiebiger und präciser wird.

B) Es folgen die Versuchsreihen, in denen das Kind abwechselnd in üblicher Weise eingehüllt oder nur in leichte Tücher eingewickelt war: in diesem Falle war also ausgiebigere Wärmeregulation nöthig.

(Siehe Tab. IX auf S. 163.)

Die Analyse der Versuchsreihe ergibt Folgendes. Nach der Geburt verursachte die leichtere Umhüllung des Kindes eine Steigerung der Wärmeverluste (Vers. 45) um 43,9 %, wobei der Sauerstoffverbrauch um 38,9 % anstieg (CO_2-Abgabe um 46,2 %). Die Körpertemperatur sank wie im Vers. 44. Wir können also die Abwesenheit der physikalischen Regulation constatiren; die chemische Wärmeregulation reicht aber nicht aus, um die Körpertemperatur constant zu erhalten. — Die Versuchspaare 46—47 und 48—49 beweisen diese Folgerung. (Die Wärme-Ausstrahlung vergrössert sich bis um 93 %, und die Körpertemperatur sinkt.)

Kind 7. Tabelle IX.

Nummer des Versuches	Alter	Tag des Versuches	Durchschnitts-temperatur des Zimmers	Temperatur im Respirationsraume	Körper-temperatur	Gewicht	Auf 1 kg in 1 Stunde O_2-Verbr. Norm.	O_2-Verbr. Leicht	CO_2-Abgabe Norm.	CO_2-Abgabe Leicht	Calorien Norm.	Calorien Leicht	Resp.-Quotient	Umhüllung
44	10 St.	21. Mai	12,2	14,1	34,8—33,5	2860	524	—	270	—	2,828	—	0,516	Norm.
45	18 „	21. „	13,4	15,1	35,0—33,5	—	—	728	—	395	—	4,071	0,543	Leicht
46	1 T. 10 St.	22. „	13,1	15,5	36,3—36,0	2710	804	—	498	—	4,875	—	0,619	Norm.
47	1 „ 18 „	22. „	13,8	15,2	36,0—33,3	—	—	746	—	420	—	5,492	0,562	Leicht
48	2 „ 10 „	23. „	14,6	16,8	35,8—35,0	2680	656	—	362	—	4,084	—	0,550	Norm.
49	2 „ 18 „	23. „	15,7	16,9	35,9—33,1	—	—	686	—	402	—	5,484	0,586	Leicht
50	4 „ 10 „	25. „	17,3	18,8	35,2—36,2	2750	571	—	315	—	3,350	—	0,552	Norm.
51	4 „ 18 „	25. „	17,8	20,3	35,9—35,6	—	—	742	—	490	—	4,652	0,660	Leicht
52	7 „ 10 „	28. „	17,9	20,0	36,6—36,8	2820	625	—	386	—	2,450	—	0,618	Norm.
53	7 „ 18 „	28. „	18,8	21,0	36,4—35,8	—	—	988	—	578	—	4,780	0,586	Leicht

Kind 4. Tabelle X.

Nummer des Versuches	Alter	Tag des Versuches	Durchschnitts-temperatur des Zimmers	Temperatur im Respirationsraume	Körper-temperatur	Gewicht	O_2-Verbr. Norm.	O_2-Verbr. Leicht	CO_2-Abgabe Norm.	CO_2-Abgabe Leicht	Calorien Norm.	Calorien Leicht	Resp.-Quotient	Umhüllung
23	16 St.	12. Juni	18,6	20,2	36,7—36,6	3060	602	—	372	—	3,087	—	0,619	Norm.
24	21 „	—	19,2	20,6	36,1—35,9	—	—	780	—	540	—	4,534	0,691	Leicht
25	1 T. 16 St.	13. Juni	18,4	20,2	36,5—36,6	2780	662	—	458	—	3,124	—	0,693	Norm.
26	2 „ 16 „	14. „	17,2	19,6	36,8—36,7	2720	636	—	396	—	2,816	—	0,618	Norm.
27	2 „ 20 „	—	17,7	20,0	36,5—36,1	—	—	832	—	536	—	4,260	0,644	Leicht
28	3 „ 16 „	15. Juni	17,0	19,2	37,1—36,9	2750	588	—	422	—	3,161	—	0,717	Norm.
29	4 „ 16 „	16. „	17,0	18,8	36,4—36,1	2850	620	—	580	—	3,136	—	0,937	Norm.
30	4 „ 20 „	—	17,4	20,0	36,0—35,2	—	—	838	—	702	—	4,856	0,836	Leicht
31	7 „ 16 „	19. Juni	19,0	21,6	36,7—37,0	2930	687	—	508	—	3,203	—	0,740	Norm.
32	7 „ 20 „	—	19,8	21,7	36,9—36,4	—	—	898	—	652	—	5,168	0,727	Leicht

Am fünften Tage (Vers. 50) erscheint dagegen — wenn das Kind normal eingehüllt ist — eine mässige physikalische Wärmeregulation, welche aber noch zu ohnmächtig ist, den grossen Anforderungen des leichten Gewandes (Vers. 51) Stand zu halten. Dasselbe gilt vom achten Tage (Vers. 52—53); im Vers. 53 ist ein mächtiger Aufschwung der chemischen Regulation nicht zu verkennen.

Wir constatiren also durchwegs eine ungenügende Ausbildung der Wärmeregulation; besonders weisen wir auf die sehr mangelhafte Regulation der Wärmeverluste hin; aber auch die Regulation der Wärmeproduction ist unvollkommen, da sie erst am achten Tage kräftiger erscheint. Die physikalische Regulation reicht zwar am fünften Tage (Vers. 50) aus, die Körpertemperatur bei guter Umhüllung des Kindes hoch zu halten, aber sie versagt, wenn man das Kind nur leicht umhüllt.

(Siehe Tab. X auf S. 163.)

Bei diesem Kinde war (bei höherer Umgebungstemperatur) bei guter Umhüllung die physikalische Regulation stark genug, um die Körpertemperatur annähernd constant zu erhalten, so dass die chemische Regulation fast nicht in Anspruch genommen wurde.

Aber nachdem das Kind leichter eingehüllt war, gab sich die Unvollkommenheit in der Ausbildung der physikalischen Regulation gleich zu erkennen: im Vers. 24 sind die Wärmeverluste um 46,8 % gestiegen. Der Sauerstoffverbrauch hat sich um 29 % vermehrt. Im Versuchspaare des dritten Tages (26—27) und weiter (29—30, 31—32) sind ähnliche Verhältnisse zu bemerken. Die intensive Thätigkeit der chemischen Regulation, wie sie sich in dem vergrösserten Gaswechsel kennzeichnet, verhindert nicht die Abkühlung des Körpers, welcher zu grosse Wärmemengen verliert. Es bestätigen sich die früheren Folgerungen.

(Siehe Tab. XI auf S. 165.)

Es ist ohne Weiteres ersichtlich, dass die physikalische Regulation, wie sie hier (Tab. XI) entwickelt ist, ausreicht, die Körpertemperatur bei guter Umhüllung constant zu erhalten, dass aber die leichte Umhüllung trotz der bedeutenden Steigerung des Gasaustausches Sinken der Körpertemperatur verursacht, da die übermässige Wärme-Ausstrahlung nicht verhindert wird.

(Siehe Tab. XII auf S. 165.)

Kind 3. Tabelle XI.

Nummer des Versuches	Alter	Tag des Versuches	Durchschnittstemperatur des Zimmers	Temperatur im Respirationsraume	Körpertemperatur	Gewicht	Auf 1 kg in 1 Stunde						Resp.-Quotient	Umhüllung
							O_2-Verbr.		CO_2-Abgabe		Calorien			
							Norm.	Leicht	Norm.	Leicht	Norm.	Leicht		
54	12 St.	19. Juni	21,2	22,8	35,5—35,2	3270	520	—	284	—	1,908	—	0,547	Norm.
55	18 „	—	21,8	23,6	35,4—33,1	—	—	685	—	390	—	3,505	0,569	Leicht
56	1 T. 12 St.	20. Juni	21,4	23,1	35,6—35,4	3110	578	—	342	—	2,928	—	0,591	Norm.
57	1 „ 20 „	—	21,7	23,8	36,9—34,8	—	—	790	—	502	—	3,801	0,635	Leicht
58	3 Tage	21. Juni	21,7	23,6	35,9—36,2	3130	560	—	318	—	2,162	—	0,568	Norm.
59	3 „	—	22,0	23,5	36,1—35,5	—	—	752	—	424	—	3,596	0,564	Leicht
60	4 „	22. Juni	21,6	22,8	36,3—34,8	3170	(614)	—	(372)	—	(3,096)	—	0,605	Norm., ab. Entblöss.
61	4 „	—	22,1	24,3	36,2—36,4	—	—	758	—	448	—	3,750	0,592	Leicht
62	8 „	26. Juni	20,7	23,2	36,5—36,4	3500	538	—	286	—	1,646	—	0,531	Norm.
63	8 „	—	21,0	22,6	36,7—35,0	—	—	664	—	424	—	3,222	0,638	Leicht

Kind 5. Tabelle XII.

Nummer des Versuches	Alter	Tag des Versuches	Durchschnittstemperatur des Zimmers	Temperatur im Respirationsraume	Körpertemperatur	Gewicht	O_2-Verbr. Norm.	O_2-Verbr. Leicht	CO_2-Abgabe Norm.	CO_2-Abgabe Leicht	Calorien Norm.	Calorien Leicht	Resp.-Quotient	Umhüllung
33	1 St.	17. Juli	22,3	23,5	34,8—36,5	3860	502	—	370	—	1,534	—	0,733	Norm.
34	6 St.	—	23,2	24,7	36,6—36,0	—	—	514	—	344	—	2,546	0,666	Leicht
35	1 Tag	18. Juli	21,5	22,9	37,0—36,8	3740	610	—	430	—	2,516	—	0,703	Norm.
36	—	—	22,7	23,5	37,0—36,5	—	—	618	—	414	—	3,468	0,669	Leicht
37	2 Tage	19. Juli	22,5	23,8	37,2—37,0	3610	547	—	397	—	2,336	—	0,725	Norm.
38	—	—	23,3	24,5	37,4—37,0	—	—	562	—	396	—	3,116	0,705	Leicht
39	3 Tage	20. Juli	22,6	23,9	37,1—37,3	3670	632	—	488	—	2,791	—	0,772	Norm.
40	4 „	21. „	23,1	24,7	37,1—37,4	—	696	—	621	—	3,277	—	0,892	Norm.
41	—	—	24,0	25,4	37,6—37,5	—	—	712	—	538	—	3,505	0,756	Leicht
42	7 Tage	24. Juli	24,4	25,5	37,0—37,1	3680	478	—	332	—	2,068	—	0,693	Norm.
43	—	—	24,6	26,7	37,0—37,1	—	—	787	—	579	—	3,398	0,736	Leicht

Aus dieser Versuchsreihe XII ist zu ersehen, dass die physikalische Regulation allein die normale Körpertemperatur zu erhalten vermag. Bei leichterer Umhüllung sind zwar die Wärmeverluste grösser, aber im Ganzen werden sie immer kleiner, wie folgende Zahlen beweisen: (Vers. 34) 65,9 %; (Vers. 36) 37,8 %; (Vers. 38) 33,4 %; (Vers. 41) 6,9 %. Auch die Körpertemperatur ist immer constanter geblieben (sie fällt in diesen Versuchen um 0,6°, 0,5°, 0,4°, 0,1° herab). Es handelt sich also um die fortschreitende Vervollkommnung der physikalischen Wärmeregulation.

Dass es nicht ausschliesslich die hohe Temperatur der Umgebung ist (22,9—25,4°), welche die chemische Regulation überflüssig macht, das erhellt aus der vorhergehenden Serie (Tab. XI), wo ebenfalls hohe Umgebungstemperatur constatirt wurde (22,6—24,3° C.) und trotzdem ausgiebige chemische Regulation vorhanden war. — Ausserdem erschien auch bei dem Kinde 5 (Tab. XII) im Versuchspaare 42—43 eine auffällige Thätigkeit der chemischen Regulation.

Als gemeinsames Ergebniss unserer beiden Versuchsverfahren können wir Folgendes angeben.

Die Wärmeregulation der neugeborenen Kinder ist mehr oder minder mangelhaft. Ihre Unvollkommenheit zeigt sich aber auffällig, wenn man den Gaswechsel und die Wärme-Ausstrahlung in der Kälte oder bei leichter Umhüllung misst. Es gibt natürlich bemerkenswerthe individuelle Unterschiede.

In erster Reihe handelt es sich um mangelhafte physikalische Regulation. Aber auch die chemische Regulation weist oft grosse Unregelmässigkeiten auf.

Wenn die Wärme-Ausstrahlung ungenügend geregelt wird, reicht die gesteigerte Wärmeproduction nur dann aus, die Körpertemperatur constant zu erhalten, wenn die Umgebungstemperatur höher oder die Umhüllung mit schlechtem Wärmeleiter besser ist.

Es scheint also die physikalische Wärmeregulation eine weit grössere Bedeutung zu haben als die chemische. Mit ihrer Ausbildung, welche schon in der ersten Woche nach der Geburt in verschiedenem Maasse geschieht, tritt die chemische Regulation in den Hintergrund.

III. Versuche an neugeborenen Kaninchen.

Zur Information wurden auch an neugeborenen Kaninchen Versuchsreihen angestellt. Alle Individuen desselben Wurfes wurden zusammen in den Apparat gebracht, nachdem sie gewogen und die Rectumtemperaturen gemessen worden waren. Einmal waren sie in Watte eingehüllt („normal"); ein ander Mal nur auf ein dickes Tuch gelegt und nicht bedeckt („leicht").

Da die Versuchsreihen annähernd gleichen Erfolg haben, genügt es als Beispiel eine solche Serie vorzubringen. (Es waren bis 26. Juni zehn, am 26. Juni acht, dann sieben Junge.)

Tabelle XIII.

Nr. des Versuches	Alter	Tag des Versuches	Durchschnittstemperatur des Zimmers	Temperatur im Respirationsraume	Körpertemperatur	Gewicht
74	3 St.	23. Juni	21,0	21,3	35,2—36,1	560
75	15 „	—	21,0	21,5	36,1—36,6	—
76	2 Tage	25. Juni	18,9	19,1	36,7—37,1	580
77	3 „	26. „	19,7	19,3	37,0—36,8	630
78	3 „	—	19,8	19,9	36,5—36,0	—
79	7 „	30. Juni	20,6	20,5	37,1—36,9	780
80	10 „	3. Juli	19,6	20,8	36,6—37,5	1030
81	11 „	4. „	19,4	19,5	37,7—38,8	1060
82	17 „	10. „	19,0	19,5	38,5—38,5	1550

Nr. des Versuches	Auf 1 kg in 1 Stunde						Umhüllung
	O_2-Verbrauch		CO_2-Abgabe		Calorien		
	Normal	Leicht	Normal	Leicht	Normal	Leicht	
74	1522	—	1020	—	4,756	—	Normal
75	—	2392	—	1328	—	8,476	Leicht
76	1622	—	982	—	5,124	—	Normal
77	1516	—	992	—	6,516	—	Normal
78	—	2116	—	1408	—	12,072	Leicht
79	1492	—	759	—	6,930	—	Normal
80	—	1650	—	1071	—	7,838	Leicht
81	1174	—	918	—	5,440	—	Normal
82	—	1456	—	884	—	6,744	Leicht

Da wir hier mehrere Individuen vor uns haben, so sind sämmtliche Zahlen Durchschnittswerthe. — In der ersten Woche schwankt der Sauerstoffverbrauch bei guter Umhüllung zwischen engen Grenzen.

Bei leichter Umhüllung steigt derselbe am höchsten am ersten Tage, sehr unbedeutend am achten Tage. Dies zeugt von der allmählichen Ausbildung der physikalischen Wärmeregulation, womit die calorimetrischen Angaben übereinstimmen. Die dem Wuchs verhältnissmässige Verkleinerung der Oberfläche und die immer dichtere Behaarung sind hier ebenfalls in Betracht zu ziehen.

Im Ganzen zeigen auch die Kaninchenversuche, dass die chemische Wärmeregulation nicht mächtig genug ist, um bei etwas niedriger Umgebungstemperatur die ungenügende physikalische Regulation zu ersetzen. Diese erreicht aber später ihre Ausbildung.

IV. Weitere Schlussfolgerungen.

Zuerst wollen wir auf das Verhältniss der Sommer- und Winterversuche eingehen. Es hat Scherer angegeben, dass der Gaswechsel in den Winterversuchen grösser ist als in den Sommerversuchen; besonderes Gewicht legte er auf den „respiratorischen Quotienten" $\frac{CO_2}{O_2}$, welcher im Winter im Ganzen niedriger ist als im Sommer.

Die Tab. VIII zeigt, wie sich die Durchschnittswerthe des Gaswechsels und der Wärmeverluste mit der Umgebungstemperatur verändern. Aus den respiratorischen Quotienten machen wir keine Folgerungen, obgleich bei niedrigen Umgebungstemperaturen dieselben kleiner ausfallen. Vergleicht man die Mittelwerthe der Versuchsreihen (1 und 2) und (3 und 5), so sieht man, dass der Gaswechsel im Winter weit bedeutender ist, die Wärmeverluste grösser, respiratorischer Quotient kleiner.

Durchschnittswerthe der	Mitteltemp.	Auf 1 kg in 1 Stunde			Respir.-Quotient
		O_2-Verbrauch	CO_2-Abgabe	Calorien	
Serien 1 u. 2	12,5	806	478	3,787	0,596
Serien 3 u. 5	23,5	570	379	2,384	0,660

Was die Beurtheilung des Verhältnisses zwischen der Intensität des Gaswechsels und der Wärmeproduction betrifft, dürfen wir nur solche Versuche vergleichen, in denen die Körpertemperatur während des Versuches annähernd gleich blieb.

Vergleiche man so z. B. die Versuche 23 und 24 der Tab. X:

Nummer	Temperatur im Respiro-meter	Körper-temperatur	Auf 1. kg in 1 Stunde		
			O_2-Verbrauch	CO_2-Abgabe	Calorien
23	20,2	36,7—36,6	602	372	3,087
24	20,6	36,1—35,9	780	540	4,534

In Folge der leichten Umhüllung stieg der Sauerstoffverbrauch um 29 %, die Wärme-Abgabe und die Wärmeproduction um 47 %.

Oder die Versuche 37 und 38 der Taf. XII:

Nummer	Temperatur im Respiro-meter	Körper-temperatur	Auf 1 kg in 1 Stunde		
			O_2-Verbrauch	CO_2-Abgabe	Calorien
37	23,8	37,2—37,0	547	397	2,336
38	24,5	37,4—37,0	562	396	3,116

Bei gleichem Gaswechsel erscheint die Wärmeproduction im Vers. 38 um 33 % erhöht. Und so weiter.

Noch grössere Unterschiede fanden wir bei den Kaninchen. —

Das Verhältniss zwischen der Wärmeproduction und dem Sauerstoffverbrauche ist gewiss kein proportionales, wie es die französischen Forscher (z. B. Laulanié) behaupten. (Desto weniger das Verhältniss zwischen Wärmeproduction und CO_2-Ausscheidung, was schon längst bekannt ist.)

V. Die Literatur.

A) Wir wollen zuerst diejenigen Arbeiten anführen, in welchen der „Mechanismus“ der Wärmeregulation studirt wurde.

Nachdem Crawford, dann Lavoisier und Séguin eine Steigerung der CO_2-Ausscheidung (am Meerschweinchen und Kaninchen) bei Einwirkung der Kälte constatirt hatten, folgten zahlreiche übereinstimmende Angaben von Delaroche, Letellier, Lehmann, Vierordt, Edwards u. s. w. Regnault und Reiset sahen einen gesteigerten Sauerstoffverbrauch beim Huhne in der Kälte. Lavoisier, Séguin, Vierordt, Smith, Liebermeister (1), Gildenmeister (2) fanden auch beim Menschen eine Vermehrung der CO_2-Ausscheidung in der Kälte. Röhrig und Zuntz (3) haben in Pflüger's Laboratorium die Wärmeregulation

eingehend studirt und auf die Bedeutung der Muskeln und des Nervenapparates hingewiesen. Ihre Ergebnisse wurden von Pflüger (4) bestätigt; selbst die Senkung der Körpertemperatur um 8—10° reichte nicht aus, die „physiologische Oxydation" bei Warmblütern zu verringern; an curarisirten Thieren und an solchen mit durchgeschnittenem Rückenmarke wurde die Natur des Regulationsapparates erkannt. Pflüger's Schüler Colasanti (5) fand an Meerschweinchen die CO_2-Ausscheidung (pro 1 kg in 1 Stunde) um 33,66 ccm, den O_2-Verbrauch um 37,23 ccm vermehrt, wenn die Umgebungstemperatur um 1° C. sank. Aehnliches haben Finkler's Versuche (6) ergeben; die Verstärkung des Gaswechsels mit sinkender Temperatur war individuell verschieden (z. B. O_2 23,3—48.2 ccm pro 1 kg in 1 Stunde).

Herzog Carl Theodor (7) experimentirte an einer Katze durch sechs Monate (bei — 5,5° bis + 30,8°): In der Kälte war der Gasaustausch höher, am höchsten in der grössten Kälte. Nach Voit (8) verringert sich aber beim Menschen die CO_2-Ausscheidung um 36% nur von 4,4° bis 16°, dann wächst wieder ihre Menge. Page (9) fand beim Hunde die kleinste CO_2-Ausscheidung bei 25°. Corin und van Beneden (10) geben bei der Taube beträchtliche Unterschiede der CO_2-Abgabe je nach der Umgebungstemperatur an: pro 1 kg in 1 Stunde bei — 9° 3016 ccm CO_2, bei + 17,5° 1141 ccm CO_2. — Sigalas (11), Richet (12), D'Arsonval (13) beobachteten den wachsenden Sauerstoffverbrauch bei sinkender Umgebungstemperatur (bei Kaninchen und Ente); Oddi (14) fand bei Mäusen den Gaswechsel bei 3° zwei Mal so gross als bei 35°. Rubner's (15) Meerschweinchen athmeten die geringste Menge CO_2 bei 35° aus. In der letzten Zeit haben Sigalas (16) an Hunden den Sauerstoffverbrauch, Pembrey (17) an Mäusen die CO_2-Abgabe in der Kälte gesteigert gesehen.

Bei Menschen gibt Fredericq (18) an, dass der Sauerstoffverbrauch ohne Kleider höher ist, besonders im Hunger. Richet und Hanriot (19) fanden, dass die Menge der CO_2 (pro 1 kg in 1 Stunde) bei 30° 0,842 betrug gegen 0,609 g bei 36,7°. — In unserer Anstalt beobachtete Scherer (20) desto grösseren Gaswechsel, je niedriger die Umgebungstemperatur war; aus der Steigerung des Gaswechsels während der weiteren Stunden (und Tage) nach der Geburt ist auf die allmähliche Entwicklung der Wärmeregulation zu schliessen. —

Dagegen müssen wir diejenigen Forscher anführen, welche eine solche Einwirkung der Kälte bei Homoiothermen leugnen. Senator (21) behauptet, dass (bei Hunden und Menschen) die Umgebungstemperatur ohne Einfluss auf den Gaswechsel ist; die Regulation des Stoffwechsels ist nach ihm bei den Homoiothermen sehr beschränkt. Seine Ausführungen (22, 23) gegen die Ergebnisse der Schule Pflüger's hat Pflüger selbst (24) widerlegt; allerdings benehmen sich alle Thiere nicht gleich, das Meerschweinchen z. B. reagirt energischer als Kaninchen; aber die Behauptung, dass ausschliesslich nur die physikalische Regulation die constante Körpertemperatur der Homoiothermen bedingt und dass die Schwankungen der Wärmeproduction belanglos sind, lässt sich nicht halten.

Auch Speck (25) leugnet irgend welches Verhältniss zwischen der Wärmeproduction und Umgebungstemperatur: die Wärmeregulation besteht ausschliesslich in der Modification der Wärmeverluste. Anderweitige Ergebnisse sind durch Bewegungen und Zittern bewirkt. Wenn aber Speck alle Bewegungen und Zittern ausgeschlossen hat, fand er nur unbedeutende Steigerung des Gaswechsels in der Kälte; dieselbe ist gewiss durch unvermeidliche Muskelthätigkeit bedingt. — Auch Jürgensen und Winternitz halten die Modificationen der Wärmeproduction für die Wärmeregulation für unbedeutend. Loewy (26) fand keine Steigerung des Sauerstoffverbrauches, wo der Mensch jede Bewegung unterdrückte und besonders, wo die Intelligenten auch keine Muskelspannung empfanden. Der einzige Wärmeregulator (bei mässiger Kälte) ist die Haut (d. h. physikalische Regulation); bei den Menschen ist die chemische Regulation ohne Belang. Vielleicht ist es bei manchen Thieren anders.

Johansson (27) studirte die Bedeutung des Gewandes und kam zu denselben Resultaten. Die CO_2-Abgabe stieg (im nackten Zustande) nur damals, wenn nicht alle Muskelcontractionen verhindert worden waren. Der Mensch besitzt keine chemische Regulation. — Eijkman (28) fand in den Tropen (an Malayen und Europäern) denselben Sauerstoffverbrauch wie in den europäischen Versuchen, er schliesst daraus auf die Abwesenheit der chemischen Regulation. — Endlich gibt Ranke (29) an, dass der Mensch im Sommer eher mehr (Kohlehydrat-)Nahrung braucht, um das Körpergewicht constant zu erhalten, als im Winter. Hätte er sich nicht im Sommer gezwungen, gleich viel zu essen wie im Winter, so wäre

sein Körpergewicht gesunken. Wir wollen dazu gleich Folgendes bemerken: im Sommer ist also die ungezwungene Nahrungsaufnahme kleiner als im Winter; Ranke wollte die chemische Regulation bei dem Menschen leugnen: obzwar sein Organismus in der wärmeren Umgebung sich weigerte, solches Nahrungsquantum aufzunehmen wie im Winter, ass Ranke womöglich so viel wie im Winter. Und er bekam — Magenkatarrh. Er glaubt aber etwas Physiologisches bewiesen zu haben, nämlich das gleiche Nahrungsbedürfniss im Sommer und Winter. Nicht das Bedürfniss aber war gleich, sondern die Nahrungsaufnahme, und dies ist selbstverständlich, denn er hat sich dazu selbst gezwungen. — Ausserdem ist es nicht erlaubt, aus dem Calorienwerthe der Nahrung so weitgehende Folgerungen über die Wärmeproduction und Wärmeabgabe zu machen; es ist ja der Organismus kein physikalisches Calorimeter.

Nach den zuletzt genannten Autoren bedingt also nur die Regulation der Wärmeverluste die Constanz der Körpertemperatur; dementgegen lehrte Pflüger, ohne die Bedeutung dieser (physikalischen) Regulation zu leugnen, dass in der Kälte durch einen thermischen Reflex der Stoffwechsel (besonders in den Muskeln) vergrössert, d. h. die Wärmeproduction erhöht werden kann. Die erhöhte Muskelthätigkeit bekundet sich z. B. im Zittern oder in locomotorischen Bewegungen (besonders bei kleineren Thieren). Es könnte aber der Metabolismus in den Muskeln verstärkt sein, ohne dass es zu wahrnehmbaren Bewegungen kommt.

Wie aus den Versuchen von Speck, Loewy, Johansson u. s. w. zu ersehen ist, gründet sich ihre Behauptung von der Allmacht der physikalischen Regulation auf solche Fälle, wo es dem Menschen gelang, seinen thermogenen Muskelreflex womöglich zu unterdrücken. Das Ergebniss ihrer Versuche lautet also: wenn man womöglich die chemische Regulation ausschliesst, constatirt man das Uebergewicht der physikalischen Wärmeregulation. Aber sie formuliren das Ergebniss folgendermaassen: der Mensch besitzt keine chemische Regulation.

Der logische Fehler ist offenbar. Es ist nun selbstverständlich, worin der angegebene Unterschied zwischen den Thier- und Menschenversuchen begründet ist. Ein Mensch, welcher ganz ungezwungen der Kälte sich ausstellt, kann einen vergrösserten Stoffwechsel (eventuell Gaswechsel) zeigen, wenn die physikalische Regulation die Wärmeverluste ungenügend regeln kann. Ganz wie die Thiere.

Unsere Versuche an neugeborenen Kindern haben in der That eine vollkommene Uebereinstimmung der Wärmeregulations-Verhältnisse beim Menschen und bei den Thieren erwiesen; es sind natürliche Versuche.

Die Versuche von Speck, Johansson u. s. w. sind aber künstliche Versuche: ein intelligenter Mensch kann durch intensive Thätigkeit seines Willens den thermischen Muskelreflex (wie andere Reflexe) bis zu einem gewissen Grade beherrschen. Mehr haben ihre Versuche nicht gezeigt. Das Ergebniss war vorauszusagen, wie in den Versuchen, wo der thermische Reflex durch Curare oder Rückenmarksdurchschneidung verhindert wurde. — Demnächst haben unsere Kinder beide Arten der Wärmeregulation geäussert; die Steigerung des Stoffwechsels — war sie mit Bewegung verbunden oder ohne dieselbe — bedeutet den natürlichen Verlauf der Wärmeregulation. Und es gelang uns — da wir auch die Wärmeverluste direct gemessen haben — das Verhältniss zwischen der physikalischen und chemischen Regulation in den ersten Tagen nach der Geburt zu präcisiren. (Im Ganzen stimmen wir Zuntz (30) zu, dass der Mensch mehr durch die physikalische Regulation geschützt wird; aber wir begreifen nicht seinen Ausspruch von „willkürlicher Steigerung der Wärmeproduction durch das reflectorische Zittern".)

B) Zur Entscheidung der Frage von der Wärmeregulation muss man unumgänglich die Wärmeverluste direct messen. In unseren Versuchen ist die Respirometrie mit einer genauen Calorimetrie verbunden.

Man hat sich oft bemüht, die directe Calorimetrie zu umgehen und die Wärmeproduction indirect zu berechnen. Doch ist nicht daran zu zweifeln, dass solche Versuche scheitern mussten. Es gibt z. B. kein constantes Verhältniss zwischen dem Gaswechsel und der Wärme-Abgabe resp. Wärmeproduction, nur im Ganzen und Grossen bewegen sich beide in gleichsinniger Richtung; wir weisen auf unsere Arbeiten hin (31, 32), sowie auf die Versuche von Laulanié (33), D'Arsonval (13) und Sigalas (11).

Senator (21) hat durch directe Calorimetrie gefunden, dass die Wärmestrahlung bei Hunden in der Kälte sich mit der Abkühlung vermindert, zuerst schnell, später langsam; in mässiger Kälte wird nicht mehr Wärme ausgestrahlt. D'Arsonval (13) und Richet (19) behaupten, dass es ein Wärme-Optimum gibt, welches

verschieden hoch bei verschiedenen Thieren liegt (z. B. ist nach Richet das Maximum der Wärmeverluste beim Kaninchen bei 14°; nach Ansiaux liegt das Minimum der Wärmeverluste beim Meerschweinchen zwischen 20—25° u. s. w.). Sigalas (11) gibt Aehnliches bei der Ente, Langlois (34) bei den Kindern an (Maximum bei 18°). — Rubner (15), Rumpel (35), Rosenthal C. (36) und Rosenthal J. (37) berichten, dass im nackten Zustande und in der Kälte mehr Wärme ausgestrahlt wird. Dann weisen wir auf Lefèvre (38) hin, welcher in seinen Bäderversuchen — wären sie auch nicht so zuverlässig, wie er meint — die Wärmeverluste mit sinkender Temperatur des Bades bedeutend wachsen sah; nach Lefèvre wehren sich die Homoiothermen in grosser Kälte nicht durch Verminderung der Wärmeverluste.

Unsere Versuche haben gezeigt, dass die physikalische Regulation besonders nach der Geburt sehr mangelhaft ist und dass sie sich dann fortwährend vervollkommnet; ohne die oft sehr bedeutende Steigerung des Stoffwechsels würde aber die Körpertemperatur lebensgefährlich sinken. Gewiss ist es nicht erlaubt, die chemische Regulation zu leugnen.

C) Was die Entwicklung der Wärmeregulation betrifft, liegen bisher wenige Kenntnisse vor. Edwards (39) hat zwei Categorien von Säugethieren und Vögeln unterschieden: diejenigen, welche in der Jugend von den Eltern entfernt ihre Körpertemperatur erhalten (Huhn, Meerschweinchen) und diejenigen, welche es nicht vermögen (Kaninchen, Kätzchen). Es handelt sich in der ersten Linie um die Wärmeproduction, nicht um die sich mit dem Wachsthum des Körpers vermindernde Körperoberfläche, denn z. B. beim Sperling ohne Federn reicht die Wärmeproduction aus, die Körpertemperatur hoch zu halten.

Zuntz (40), Pflüger (41), Rawitz (42) u. A. beobachteten Fälle, welche eine merkwürdige Resistenz des thierischen und menschlichen Foetus beweisen. — Nach Preyer (43) besitzt die Frucht keine Wärmeregulation. — Raudnitz (44) gibt an, dass „das erste Minimum“ der Körpertemperaturwelle des Neugeborenen die Folge der Abkühlung nach der Geburt ist; „das erste Maximum“ folgt dann als Reaction; die weiteren Schwankungen sieht er als abklingende Compensationsschwankungen an, verschieden bei verschieden starken Kindern. Die Körpertemperatur des Neugeborenen

ist sehr unbeständig: das ist die Folge der mangelhaften Ausbildung des thermoregulatorischen Apparates, welche Raudnitz durch Uebergiessungen mit kaltem Wasser u. s. w. beweist. Er fand bedeutende Unterschiede: bei manchen Kindern steigt die Körpertemperatur nach der Uebergiessung gleich nach der Geburt, bei anderen aber erst am zweiten bis sechsten Tage. Auch das Zittern und andere Bewegungen, welche thermoregulatorische Bedeutung besitzen, werden verschieden ausgebildet gefunden, früher und mächtiger bei starken Kindern.

Endlich veröffentlichte Pembrey (45, 46, 47) Versuche über die Regulationsfähigkeit der neugeborenen Mäuse u. s. w. Bei diesen hat er in den ersten drei Tagen Poikilothermie constatirt; erst am achten Tage ist in der Kälte eine kleine Steigerung der CO_2-Ausscheidung zu bemerken u. s. w. Die Tauben vermögen noch am siebenten Tage nicht ihre Körpertemperatur constant zu erhalten. Dagegen die neugeborenen Meerschweinchen und Hühner weisen vollkommene Wärmeregulation auf. Die Behaarung und das Gefieder hat dabei kleine Bedeutung.

Unsere Versuche bieten bemerkenswerthe Beobachtungen über die Entwicklung der Wärmeregulation nach der Geburt dar, indem sie den Stoffwechsel nach der Intensität des Gaswechsels zu beurtheilen erlauben und durch die Messung der Wärmeverluste eine Vorstellung von der Wärmeproduction sich zu bilden gestatten.

Literatur.

1) Liebermeister, Untersuchungen über die quantitativen Veränderungen der CO_2-Production beim Menschen. Deutsches Archiv f. klin. Medicin. 1872.
2) Gildemeister, Ueber CO_2-Production bei Anwendung kalter Bäder. Inaug.-Diss. 1870.
3) Röhrig und Zuntz, Zur Theorie der Wärmeregulation und der Balneotherapie. Pflüger's Archiv Bd. 4. 1871.
4) E. Pflüger, Ueber Temperatur und Stoffwechsel der Säugethiere. Pflüger's Archiv Bd. 4. 1871. — Untersuchungen über Wärme und Oxydation der lebenden Materie. Pflüger's Archiv Bd. 18.
5) G. Colasanti, Ueber den Einfluss der umgebenden Temperatur auf den Stoffwechsel der Warmblüter. Pflüger's Archiv Bd. 14. 1877.
6) D. Finkler, Beiträge zur Lehre von der Anpassung der Wärmeproduction an den Wärmeverlust bei Warmblütern. Pflüger's Archiv Bd. 15. 1877.

7) Theodor Carl, Ueber den Einfluss der Temperatur der umgebenden Luft auf die Kohlensäure-Ausscheidung etc. Zeitschr. f. Biol. 1880.
8) C. Voit, Ueber die Wirkung der Temperatur der umgebenden Luft auf die Zersetzungen im Organismus der Warmblüter. Zeitschr. f. Biol. 1880.
9) F. J. M. Page, Some experiments into the influence of the surrounding temperature etc. (Schäfer, Text-book of Physiol.)
10) Corin et van Beneden, s. Pembrey, Chemistry of respir. (Schäfer, Text-book.)
11) C. Sigalas, Recherches expérim. de calorimétrie animale. Mesure de la radiation calorique et des combustions respir. Paris 1890.
12) Ch. Richet, La chaleur animale. Paris 1889.
13) D'Arsonval, Société de biologie 1884.
14) Oddi, Arch. ital. de biologie 1891. (Schäfer, Text-book.)
15) M. Rubner, Biologische Gesetze. 1887.
16) C. Sigalas, Influence des bains froids sur la température centrale et sur les combustions respir. C. R. Soc. Biol. 1894.
17) M. S. Pembrey, On the reaction time of mammals to changes in the temperature of their surroundings. Journ. of Physiol.
18) L. Fredericq, Sur la régulation de la température chez les animaux à sang chaud. Arch. de biol. 3. (Richet, Dictionn. de Physiol.)
19) Ch. Richet et Hanriot, Dictionn. de biologie Richet: Chaleur.
20) F. Scherer, Die Respiration des Neugeborenen und Säuglings. Jahrb. f. Kinderheilk. 1896.
21) Senator, Untersuchungen über die Wärmebildung und den Stoffwechsel. Du Bois Reymond's Archiv. 1874.
22) Senator, Berichtigende Bemerkung zu Colasanti's Beitrag zur Fieberlehre. — Noch ein Wort über Colasanti's Beitrag zur Fieberlehre nebst Bemerkungen über Wärmeregulation. Pflüger's Archiv Bd. 14. 1877.
23) Senator, Zur Lehre von der thierischen Wärme. — Nachtrag zur Mittheilung von der thierischen Wärme. Du Bois Reymond's Archiv. 1878.
24) E. Pflüger, Pflüger's Archiv Bd. 14 und 15. 1877.
25) C. Speck, Physiologie des menschlichem Athmens nach eigenen Untersuchungen. 1892.
26) A. Loewy, Ueber die Wärmeregulation des Menschen. Pflüger's Archiv Bd. 45. 1890. — Ueber den Einfluss der Abkühlung auf den Gaswechsel des Menschen. Ein Beitrag zur Lehre von der Wärmeregulation. Pflüger's Archiv Bd. 46. 1890.
27) J. E. Johansson, Ueber den Einfluss der Temperatur in der Umgebung auf die Kohlensäure-Abgabe des menschlichen Körpers. Skand. Arch. f. Physiol. Bd. 7. 1896.
28) C. Eijkmann, Ueber den Gaswechsel der Tropenbewohner etc. Pflüger's Archiv Bd. 64. 1896. — Vergleichende Untersuchungen über die physikalische Wärmeregulirung bei dem europäischen und malayischen Tropenbewohner. Arch. f. pathol. Anat. 1895.
29) E. Ranke, Der Nahrungsbedarf im Winter und Sommer des gemässigten Klimas. Zeitschr. f. Biol. 1900.

30) N. Zuntz, Ueber die Wärmeregulation beim Menschen nach Versuchen des H. Loewy. Du Bois Reymond's Arch. f. Physiol. Vertr. d. physiol. Ges. Berlin. 1889.
31) E. Babák, Recherches expérim. de respirom. et calorimétrie chez les animaux vernis. Bullet. internat. de l'Acad. des Sc. de Bohême. 1900.
32) E. Babák, Respirometrische und calorimetrische Untersuchungen bei Kindern mit supranormaler und subnormaler Körpertemperatur. Bull. internat. de l'Acad. des Sciences de Boh. 1900.
33) F. Laulanié, Recherches expérim. sur les variations corrélat. dans l'intensité de la thermogénèse et des échanges respir. Arch. de Physiol. 1892.
34) P. Langlois, Beitrag zum Studium der directen Calorimetrie beim Menschen. Centralbl. f. Physiol. 1887.
35) Rumpel, Ueber den Werth der Bekleidung und ihre Rolle bei der Wärmeregulation. Arch. f. Hyg. Bd. 9. 1889.
36) C. Rosenthal, Calorimetrische Untersuchungen über die Wärmeproduction und Wärme-Abgabe des Armes an Gesunden und Kranken. Du Bois Reymond's Archiv. 1888.
37) J. Rosenthal, Calorimetrische Untersuchungen an Säugethieren. Sitzgsber. der Akad. d. Wissensch. Berlin 1890.
38) J. Lefèvre, Société de biol. 1894. — Arch. de Physiol. 1896, 1897, 1898.
39) Edwards, De l'influence des agents physiques sur la vie. 1824. (Schäfer, Text-book.)
40) N. Zuntz, Ueber die Respiration des Säugethier-Fötus. Pflüger's Archiv Bd. 14.
41) E. Pflüger, Die Lebenszähigkeit des menschlichen Fötus. Pflüger's Archiv Bd. 15.
42) B. Rawitz, Die Lebenszähigkeit des Embryos. Du Bois Reymond's Archiv. 1879. Suppl.
43) W. Preyer, Spezielle Physiologie des Embryo. 1885.
44) R. W. Raudnitz, Die Wärmeregelung beim Neugeborenen. Zeitschr. f. Biol. 1888.
45) M. S. Pembrey, The development of the power of regulating heat-production. Journ. of Physiol. t. 17. 1894.
46) Pembrey, Gordan, Warren, On the response of the chick before and after hatching to changes of external temperature. Journ. of Physiol. t. 17. 1894.
47) M. S. Pembrey, The effect of variations in external temperature upon the output of carbonic acid and the temperature of young animals. J. of Physiol. t. 18. 1895.

Erwiderung

auf die Arbeit von

Dr. R. O. Neumann: „Die Wirkung des Alkohols als Eiweisssparer“.

(Archiv für Hygiene Bd. 41.)

Von

Dr. **Rudolf Rosemann**,

Privatdocent und Assistent am physiol. Institut zu Greifswald.

In Band 41 des Archivs für Hygiene hat R. O. Neumann eine Arbeit: „Die Wirkung des Alkohols als Eiweisssparer. Neue Stoffwechsel-Versuche am Menschen. (Zugleich Entgegnung auf die Kritik meines ersten Alkoholversuches von R. Rosemann, Pflüger's Archiv Bd. 77)“, veröffentlicht, die mich zu der folgenden Erwiderung nöthigt.

Die Neumann'sche Entgegnung bezieht sich, wie der Titel sagt, auf meine vor etwa zwei Jahren erschienene Kritik in Bd. 77 dieses Archivs. Ich zweifelte aber zunächst nicht daran, dass Neumann auch meine späteren Arbeiten, vor Allem die zusammenfassende Darstellung, die ich vor ca. drei Monaten in diesem Archiv Bd. 86 veröffentlicht habe, berücksichtigen würde. Zu meiner grossen Verwunderung scheint Neumann diese meine letzte, umfangreichste Arbeit über den in Frage stehenden Gegenstand ganz unbekannt zu sein, — jedenfalls ist ihrer in der Neumann'schen Arbeit nirgends Erwähnung gethan. Dass meine letzte Publication Neumann wirklich vor dem Erscheinen seiner Arbeit nicht bekannt geworden sein sollte, ist nicht anzunehmen. Gewiss hatte Neumann das Manuscript seiner Arbeit vor dem Erscheinen der meinigen abgeschlossen, aber er hätte sehr wohl die Möglichkeit gehabt, beim Lesen der Correctur seiner Arbeit einen Nachtrag anzufügen, in dem er auf meine inzwischen erfolgte Publication Bezug genommen hätte[1]). Dazu wäre nicht nur die Möglichkeit vorhanden gewesen — dazu hätte auch eine Pflicht vorgelegen. Denn meine letzte Arbeit stellt keineswegs

---

1) Inzwischen hat Neumann in einem Autoreferat über seine Arbeit (Münch. med. Wochenschr. 1901 S. 1979) auch von meiner letzten Veröffentlichung Notiz genommen.

nur eine Zusammenfassung meiner früheren Anschauungen dar, sondern ich habe vielmehr in derselben meine Auffassung von der Wirkung des Alkohols auf den Eiweissstoffwechsel vollständig geändert. Ich habe auf Grund neuer Versuche von mir und Anderen mich davon überzeugt, dass der Alkohol in der That eiweisssparend zu wirken vermag. Es macht daher einen eigenartigen Eindruck, wenn Neumann in seiner jüngsten Arbeit mit höchster Lebhaftigkeit mir gegenüber Sätze vertheidigt, die ich bereits durchaus anerkannt habe.

Zwischen Neumann und mir besteht zur Zeit hinsichtlich der eiweisssparenden Wirkung des Alkohols eine so gut wie vollständige Uebereinstimmung. Die einzige Differenz in unseren Anschauungen ist gegeben durch die verschiedene Bewerthung des in der Literatur vorliegenden Beweismaterials. Offenbar ist dies aber ein Punkt von untergeordneter Bedeutung. Besteht über das endliche Resultat Uebereinstimmung, so ist es schliesslich ziemlich gleichgültig, was der einzelne Autor über diesen oder jenen Versuch denkt. Diese Differenz würde für mich jedenfalls keine Veranlassung dazu sein, auf die Neumann'sche Entgegnung einzugehen.

Und das wäre um so weniger der Fall, als ich keine Hoffnung habe, Neumann von meinen Anschauungen zu überzeugen. Neumann sagt mehrfach: er hätte sich bisher absichtlich nicht in eine fruchtlose Polemik eingelassen. Er scheint danach jede Polemik für fruchtlos zu halten. Das ist meine Meinung nicht. Ich glaube im Gegentheil, dass, wenn zwei Autoren über eine Frage abweichender Meinung sind, durch eine polemische Erörterung sehr wohl der endlichen Erkenntniss der Wahrheit gedient werden kann: wenn nämlich beide für ihre Anschauung Gründe angeben und der eine die Gründe des anderen discutirt. Ich habe für meine Auffassung des ersten Neumann'schen Versuchs solche Gründe angegeben. Neumann beschränkt sich aber darauf, zu versichern, dass meine Auffassung falsch wäre, dass seine Versuche so aufgefasst werden müssten, wie er sie auffasst, und wiederholt seine Auffassung, ohne auf die von mir vorgebrachten Gründe meiner abweichenden Auffassung einzugehen. Solche Polemik — das wiederhole ich[1] — ist freilich fruchtlos und muss es sein.

Wenn also einerseits zwischen Neumann und mir nur Differenzen unwesentlicher Art bestehen, und wenn ich andererseits

1) Dieses Archiv Bd. 86 S. 339.

nach Lage der Dinge keine Hoffnung haben kann, mit Neumann eine fruchtbringende Polemik zu führen, so entfiele eigentlich für mich jeder Grund, auf die letzte Neumann'sche Arbeit einzugehen. Wenn ich es gleichwohl hier thue, so ist die Veranlassung dazu ganz anderer Art.

Die erste und grösste, freilich auch selbstverständlichste Pflicht eines Autors, der sich mit den Anschauungen eines Anderen polemisch beschäftigt, sollte die sein, diese Anschauungen treu und unverfälscht wiederzugeben. Denn der Leser einer Polemik wird selten Zeit und Gelegenheit dazu haben, die in der Polemik angeführten Aussprüche des anderen Autors an Ort und Stelle nachzulesen, zu prüfen, ob der Verfasser auch richtig citirt. Er vertraut dem Verfasser, und wenn dieser dem Vertrauen entspricht, so kann das schliesslich gefällte Urtheil noch so vernichtend ausfallen: der Leser wird stets in der Lage sein, selbst darüber zu entscheiden, ob dieses Urtheil berechtigt ist oder nicht.

Neumann hat von dieser selbstverständlichen Verpflichtung zur unveränderten Wiedergabe der Anschauungen seines Gegners, wie es scheint, keine Vorstellung. Neumann citirt wesentliche Sätze aus meinen Publicationen in willkürlich veränderter Form. Theils sind diese Aenderungen unwesentlicher Art, wenn auch desswegen nicht entschuldbar, theils aber sind sie von höchster Bedeutung. Neumann ändert meine Sätze so, dass sie gerade das Gegentheil von dem sagen, was ich ersichtlich damit habe sagen wollen, und es ist ihm dann ein Leichtes, das Unrichtige meiner angeblichen Behauptungen nachzuweisen. Neumann stellt Sätze von mir, die sich auf ganz verschiedene Dinge beziehen, so neben einander, als ob sie von derselben Sache handelten, und findet dann selbstverständlich unvereinbare Widersprüche. Wenn ich etwas nach seiner Meinung Irriges gesagt habe, discutirt er es weitläufig; wenn ich aber etwas gesagt habe, was er als berechtigt später angenommen hat, so wird es nicht erwähnt. Wenn ein anderer Autor über irgend einen Punkt anderer Meinung ist wie ich, wird dieser Autor citirt; wenn aber derselbe Autor in anderen Punkten sich meiner Kritik angeschlossen hat, wird er nicht erwähnt. Gegen diese Art von Polemik Verwahrung einzulegen, ist der Zweck der folgenden Ausführungen. Das Urtheil darüber überlasse ich getrost dem Leser.

Ehe ich mich zu den einzelnen Versuchen wende, muss ich noch auf eine allgemeine Bemerkung Neumann's eingehen. Nachdem er

in seiner Vorbemerkung auseinandergesetzt hat, dass wir Beide auf Grund unserer Versuche widersprechender Ansicht sind, sagt er[1]: „Mir will es scheinen, als ob sich der endgültige Beweis nur führen liesse durch weitere Versuche, und zwar Versuche, welche über lange Perioden ausgedehnt und an geeigneten Versuchsindividuen angestellt werden. Denn auch noch so ausführliche Kritiken und an zahlreichen Stellen veröffentlichte Auseinandersetzungen über ein und dieselbe Sache (Anmerkungen 1—13) und in ein und derselben Beleuchtung dürften kaum die Meinungsverschiedenheiten in dieser Frage zu schlichten in der Lage sein."

In der Anmerkung 1—13 führt dann Neumann meine einzelnen Arbeiten über den Alkohol, allerdings in der grössten Unordnung und keiner ersichtlichen Reihenfolge, an. Und diese meine Arbeiten wären also Auseinandersetzungen „über ein und dieselbe Sache"? Gewiss, vom Alkohol handeln sie alle. Aber Niemand, der diese Arbeiten gelesen hat, wird Neumann beistimmen wollen, dass es Auseinandersetzungen „über ein und dieselbe Sache" sind. Die Wirkung des Alkohols ist wohl eine so vielseitige und die Frage nach dieser Wirkung eine so wichtige, dass man meiner Meinung nach getrost noch viel mehr über diese „ein und dieselbe Sache" schreiben kann. Der Leser wird freilich leicht denken, nach der Art wie Neumann sich ausdrückt, dass ich in allen diesen Abhandlungen mich mit einer Kritik des Neumann'schen Versuchs beschäftigt hätte. Dass das nicht zutrifft, geht schon daraus hervor, dass ein Theil dieser Arbeiten publicirt ist, ehe von dem Neumann'schen Versuche überhaupt die Rede war. Neumann wirft mir in gesperrtem Druck vor, dass ich diese „ein und dieselbe Sache" immer in „ein und derselben Beleuchtung" vorgetragen hätte. Was ist dabei Wunderbares? Wenn man von einer Sache eine bestimmte Vorstellung hat, gibt es nur eine Beleuchtung, in der dieselbe vorgetragen werden kann, nämlich die, welche man selbst für die richtige hält. Ich wüsste wenigstens nicht, wie man eine bestimmte Vorstellung über die Wirkung des Alkohols in verschiedener Beleuchtung vortragen könnte. Durch solche allgemeinen abfälligen Bemerkungen Neumann's wird jedenfalls über Werth oder Unwerth meiner Arbeiten nicht entschieden werden.

1) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 86.

Der erste Neumann'sche Alkoholversuch.

Neumann sagt in seiner Vorbemerkung[1]), ich hätte „die Schlussfolgerungen (aus seinem ersten Alkoholversuche) nicht für erwiesen gehalten auf Grund der unter meiner Leitung ausgeführten Versuche von Schmidt und Schoeneseiffen, deren Ergebnisse beweisen sollen, dass der Alkohol nicht Eiweiss spart“, und im Verlaufe seiner Entgegnung sagt er[2]), „der Schoeneseiffen'sche Versuch vermöge seine Resultate nicht zu erschüttern“, und weiterhin[3]), „der Schmidt'sche Versuch könne niemals als Beweisstück gegen die Resultate seiner Versuche in's Feld geführt werden“. Das Alles hört sich so an, als ob ich etwa Folgendes gesagt hätte: Neumann hat gefunden, dass der Alkohol Eiweiss spart, Schmidt und Schoeneseiffen haben gefunden, dass der Alkohol kein Eiweiss spart, also ist die Schlussfolgerung des Neumann'schen Versuchs falsch. So habe ich aber nicht überlegt. Natürlich bin ich davon ausgegangen, dass die unter meiner Leitung ausgeführten Versuche ein anderes Resultat ergeben haben wie der Neumann-sche Versuch, aber ich habe niemals diese meine Versuche gegen die Neumann'schen „in's Feld geführt“. Ich habe niemals behauptet, dass die Schlussfolgerungen Neumann's aus seinem Versuche desswegen falsch wären, weil meine Versuche andere Resultate ergeben hätten. Denn niemals wird überhaupt ein Versuch dadurch als falsch erwiesen, dass ein anderer Versuch das gegentheilige Resultat gibt. Die Schlussfolgerung eines Versuchs kann nur durch Gründe als irrig nachgewiesen werden, die in dem Versuche selber gelegen sind. Ich habe die Schlussfolgerungen des ersten Neumann'schen Versuchs für irrig erklärt nicht auf Grund meiner abweichenden Versuchsresultate, sondern aus Gründen seiner Versuchsanordnung. Das aber ist etwas ganz Anderes.

Neumann hat in der ersten Periode seines Versuchs bei genügender Nahrung Stickstoffgleichgewicht beobachtet, in der zweiten Periode bei ungenügender Nahrung (Weglassung von 77,6 g Fett) einen Stickstoffverlust von durchschnittlich 1,63 N. In der dritten Periode wurde dann eine dem weggelassenen Fett äquivalente Menge

---

1) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 85.

2) l. c. S. 94.

3) l. c. S. 109.

Alkohol gegeben. Dabei wurde nun zunächst ein erhöhter Stickstoffverlust beobachtet, in Folge der Giftwirkung des Alkohols, über die ich mit Neumann stets gleicher Meinung gewesen bin. Dann aber, in den letzten sechs Tagen der dritten Periode, trat eine Aenderung ein. Neumann beschreibt diese in seiner ersten Veröffentlichung mit folgenden Worten[1]: „Wir sehen vom vierten Tage in der dritten Periode an ein rapides Abfallen der Stickstoffausfuhr, welche sich in den folgenden Tagen mit der Stickstoffeinfuhr im Gleichgewicht hielt.“ Jetzt, in seiner letzten Veröffentlichung, drückt er sich folgendermaassen aus[2]: „Der Eiweisszerfall nahm ab, und es wurde beinahe Stickstoffgleichgewicht erzielt. (Die N-Bilanz beträgt — 0,32 g.) Ich betone hier ausdrücklich ‚beinahe‘, weil dieselbe Erscheinung im zweiten Versuche wieder auftritt und desshalb mehr Beachtung verdient, wie ich anfänglich glaubte.“

Neumann hat also anfänglich das beobachtete Resultat für ein vollkommenes Stickstoffgleichgewicht angesprochen, während er jetzt ausdrücklich betont, dass nur ein annäherndes Stickstoffgleichgewicht erreicht wurde. Ich bin weit entfernt davon, Neumann aus dieser veränderten Auffassung seines Versuchsresultates einen Vorwurf zu machen. Aber einen Vorwurf mache ich ihm daraus, dass er verschweigt, wer zuerst diese abweichende Auffassung seines Versuchsresultates ausgesprochen hat. Ich citire die folgende Stelle aus meiner Kritik der Neumann'schen Arbeit[3]:

„Ich kann zunächst nicht zugeben, dass in der That Stickstoffgleichgewicht eintrat. Die Bilanzen an den einzelnen sechs Tagen sind die folgenden: — 0,61, + 0,48, — 0,49, — 0,40, — 0,58, — 0,33, im Mittel — 0,32. Man wird gewiss nicht verlangen können, dass in einer Periode des Stickstoffgleichgewichts die Stickstoffeinfuhr und -Ausfuhr auf das Haar mit einander übereinstimmen. Aber man wird wenigstens erwarten dürfen, dass die Bilanz abwechselnd positiv und negativ ist. Hier finden wir nur an einem Tage positive Bilanz. An allen übrigen Tagen ist dieselbe negativ. Ich würde daher die Stickstoffausscheidung dieser Periode mit folgenden Worten charakterisiren: Der Körper war bestrebt, sich in Stickstoffgleichgewicht zu setzen, erreichte dasselbe aber nicht vollkommen, sondern es blieb ein allerdings geringer Stickstoffverlust vom Körper bestehen.“

1) Archiv f. Hygiene Bd. 36 S. 30.
2) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 89.
3) Dieses Archiv Bd. 77 S. 418.

Ich habe also zuerst darauf Gewicht gelegt, dass hier das Stickstoffgleichgewicht nicht völlig erreicht ist, und Neumann wäre gewiss verpflichtet gewesen, wenn er nunmehr dieser Auffassung beistimmt, zu sagen, dass sie von mir stammt.

Neumann fasst diese allmähliche Annäherung an das Stickstoffgleichgewicht als eine Wirkung des Alkohols und als einen Beweis der eiweisssparenden Wirkung desselben auf. Ich habe dagegen eingewandt, dass der Körper bei Unterernährung bekanntlich immer das Bestreben zeigt, sich in das Stickstoffgleichgewicht zu setzen, dass also dieses Resultat auch hätte eintreten können, wenn gar kein Alkohol gegeben worden wäre. In meiner letzten Arbeit habe ich bereits ausgeführt[1]), dass ich jetzt, wo durch andere Versuche der Beweis der eiweisssparenden Wirkung des Alkohols geliefert worden ist, es sehr wohl für möglich halte, dass in der dritten Periode des Neumann'schen Versuchs der Alkohol eiweisssparend gewirkt hat. Aber dieses Resultat — dabei bleibe ich bestehen, — geht nicht mit Sicherheit aus dem Neumann'schen Versuche hervor. Neumann geht auf die Begründung meines Einwandes so gut wie gar nicht ein. Er sagt nicht, ob er zugibt, dass der Körper in der That bei ungenügender Ernährung bestrebt ist, sich in das Stickstoffgleichgewicht zu setzen. Gibt er das nicht zu, so steht er in Widerspruch mit einer allgemein anerkannten Thatsache. Gibt er es zu, so liegen jedenfalls zwei Möglichkeiten vor, das Resultat seiner dritten Periode zu erklären: entweder das Bestreben des Körpers, sich in das Stickstoffgleichgewicht zu setzen, oder die eiweisssparende Wirkung des Alkohols. Neumann sagt einfach[2]): „Dem Alkohol diese Wirkung zuzuschreiben war natürlich das Naheliegendste und, wie wir später sehen werden, auch das Richtige." Man gibt aber einem Versuche nicht diejenige Erklärung, welche die „naheliegendste" und, „wie wir später sehen werden", die richtige ist, sondern ein Versuch darf überhaupt nur eine Deutung zulassen, deren Richtigkeit man nicht „später sehen wird", sondern die aus ihm selbst unmittelbar hervorgeht.

Neumann meint, meine Auffassung, der Alkohol hätte beim Resultat seiner dritten Periode ganz irrelevant sein können, stehe

1) Dieses Archiv Bd. 86 S. 338.
2) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 90.

damit in Widerspruch, dass ich kurz darauf sagte: „Bewiesen ist, dass der Alkohol bei seiner Verbrennung im Körper andere Stoffe spart." Denn, so fährt Neumann fort [1]), „sehen wir zunächst davon ab, was er spart, so wissen wir doch, dass er spart, — und dann kann er eben nicht irrelevant sein, sondern muss seinen Nutzeffect irgendwo bethätigen." Die Logik dieser Ueberlegung ist so zwingend, dass ich sie rundweg zugebe. Gewiss, der Alkohol spart, und wenn er spart, kann er eben nicht irrelevant sein, sondern muss seinen Nutzeffect „irgendwo" bethätigen. Gewiss: „irgendwo", z. B. bei der Kohlensäureausscheidung und Sauerstoffaufnahme! Aber wenn Neumann einfach den Schluss zieht: der Alkohol muss „irgendwo" seinen Nutzeffect bethätigen, also muss die „N-Ausfuhr" verringert werden, so hört meines Erachtens die Logik auf. Noch ein Mal wiederhole ich: Ich gebe zu, dass der Nutzeffect sich „irgendwo" bethätigen muss, aber dass er sich bei der Stickstoffausscheidung bethätigen muss, das wollen wir doch erst beweisen. Wenn Neumann aus seiner bündigen Ueberlegung mit Sicherheit den Schluss ziehen kann, dass sich der Nutzeffect des Alkohols bei der Stickstoffausscheidung bethätigen muss, wozu macht er dann noch Versuche? Dann ist das Resultat, welches Neumann aus seinen Versuchen zieht, ja schon vorher erwiesen!

Ich habe in meiner Kritik des Neumann'schen Versuches ausgeführt, dass, wenn man bei einem in Unterernährung befindlichen Menschen das Deficit der Nahrung durch eine äquivalente Menge Alkohol ersetzt und dann nachher Stickstoffgleichgewicht beobachtet, die Resultate des Versuches nothwendiger Weise getrübt werden müssten durch das Bestreben des Körpers, sich auch mit einer ungenügenden Nahrung schliesslich in das Stickstoffgleichgewicht zu setzen, und dass es daher ganz zwecklos sei, den Versuch länger auszudehnen. Nun wundert sich Neumann höchlichst darüber, dass ich bei Schoeneseiffen den Versuch in Unterernährung beginnen liess. „Da musste Rosemann doch auch die Besorgniss hegen, dass seine Resultate ‚getrübt' werden würden," ruft Neumann triumphirend aus [2]). Ich frage dagegen: Besteht wirklich gar kein Unterschied zwischen den Versuchsanordnungen bei Neumann und bei Schoeneseiffen? Ist Neumann wirklich nicht im Stande,

1) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 90.
2) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 91.

diesen Unterschied selber zu finden? Neumann hat das Deficit seiner Nahrung durch eine äquivalente Menge Alkohol ersetzt; Schoeneseiffen hat das Deficit seiner Nahrung durch Alkohol gewaltig übercompensirt. Ich habe auf diesen Punkt des Schoeneseiffen'schen Versuches stets ein so grosses Gewicht gelegt, dass er Neumann nicht hätte entgehen sollen. Bei Schoeneseiffen hätte, wenn der Alkohol bei ihm eiweisssparend gewirkt hätte, nicht nur Stickstoffgleichgewicht eintreten müssen, sondern sogar ein Stickstoffansatz; und diese Wirkung hätte niemals auf irgend etwas Anderes zurückgeführt werden können als auf den Alkohol. Wir hatten also eine Trübung unseres Versuchsresultates nicht zu befürchten. Dass wir dieses Versuchsresultat bei Schoeneseiffen vielleicht schliesslich erreicht haben würden, wenn wir den Versuch länger ausgedehnt hätten, gebe ich jetzt, nachdem ich mich von der eiweisssparenden Kraft des Alkohols überzeugt habe, gern zu. Neumann hätte seine dritte Periode so lange ausdehnen können, wie er wollte: er hätte immer nur im besten Falle ein vollkommenes Stickstoffgleichgewicht erreichen können, welches ebenso gut auf die Fähigkeit des Körpers, auch mit einer ungenügenden Nahrung Stickstoffgleichgewicht zu erreichen, zurückgeführt werden konnte wie auf den Alkohol. Neumann zieht aus meinem Ausspruch die Consequenz, dass es überhaupt unmöglich wäre, die Wirkung des Alkohols bei Jemandem, der sich in Unterernährung befindet, experimentell zu beweisen. „Denn man würde ja mit Rosemann jedes Mal von vornherein sagen müssen: Auch ohne Alkohol wäre ganz dasselbe eingetreten.“ Hoffentlich sieht Neumann nun selber ein, dass er eben eine falsche Consequenz aus meinem Ausspruch gezogen hat. Die richtige Consequenz meines Ausspruches muss lauten: Es ist unmöglich, die Wirkung des Alkohols bei Jemandem, der sich in Unterernährung befindet, sicher zu beweisen, wenn man das Deficit der Nahrung durch eine äquivalente Menge Alkohol ersetzt. Dabei bleibe ich noch heute, und das hat Neumann in der dritten Periode seines Versuchs eben gethan. Wenn man dagegen das Deficit der Nahrung durch einen Ueberschuss von Alkohol übercompensirt, dann kann man die eiweisssparende Kraft des Alkohols sehr wohl erweisen, nur muss man — das gebe ich jetzt sehr gern zu — den Versuch länger ausdehnen. Desshalb war die Schoeneseiffen'sche Versuchsanordnung keineswegs mit meinen Anschauungen in Widerspruch. Neumann muss, wenn er die Con-

sequenzen aus meinen Aussprüchen zieht, diese nur nicht verallgemeinern, sondern sie auf die Fälle beschränken, für die ich sie aufgestellt habe.

Dass das Bestreben des Organismus, sich auch mit einer ungenügenden Nahrung in das Stickstoffgleichgewicht zu setzen, das Resultat der dritten Periode seines Versuchs zu einem unsicheren macht, hat Neumann seiner Zeit selbst eingesehen. Er sagt in einer Anmerkung auf Seite 31 seiner ersten Arbeit[1]):

„Ich bin mir wohl bewusst, dass Diejenigen, welche sich von vornherein auf den Standpunkt stellen, der Alkohol sei kein Nahrungsmittel, versuchen werden, die Resultate der dritten und vierten Periode anders zu deuten. Sie könnten vielleicht einwenden, das Stickstoffgleichgewicht würde — unter der Annahme, dass also der Alkohol irrelevant wäre — in der dritten Periode so wie so nach einigen Tagen wieder erreicht sein, da sich der Organismus im Hungerzustand — und bis zu einem gewissen Grade befindet sich der Organismus bei Nahrungsentzug in einem solchen — in ein gewisses Gleichgewicht einstellt. Dem muss aber entgegengehalten werden, dass 1. die ausserordentliche Herabsetzung der Stickstoffausfuhr in der vierten Periode dagegen spricht, und 2. dass dieselbe, nachdem einmal bewiesen ist, dass der Alkohol wirklich functionell im Körper verbrennt, auf gar nichts Anderem beruhen kann als auf der Wirkung des Alkohols."

Damals also hielt es Neumann für nothwendig, durch die beiden Ueberlegungen am Schlusse seiner Anmerkung seine Auffassung zu stützen. Ich verweise hinsichtlich derselben auf meine Besprechung in meiner Kritik des 1. Neumann'schen Stoffwechsel-Versuchs. Der zweite der von Neumann angeführten Punkte enthält dieselbe Beweisführung, die ich eben als unrichtig nachgewiesen habe, dass nämlich, wenn der Alkohol überhaupt spare, dieser Nutzeffect sich auch irgendwo bethätigen müsste, und dass dieses „irgendwo" eben die Stickstoffausscheidung sein müsste. Wie man sieht, hat aber Neumann damals ausser dieser unzulänglichen Beweisführung für seine Auffassung der dritten Periode das Resultat der vierten Periode angeführt. Jetzt behauptet er dagegen umgekehrt, dass schon aus der dritten Periode die eiweisssparende Wirkung des

---

1) Archiv f. Hygiene Bd. 36 S. 31.
2) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 93.

Alkohols sicher bewiesen sei. Er sagt bei der Besprechung seiner vierten Periode wörtlich: „Ich durfte so verfahren, weil ja in der dritten Periode bewiesen[1]) war, dass der Alkohol für das Fett eintreten konnte.“

In der vierten Periode wurden zur Nahrung der dritten Periode 78 g Fett zugelegt. Die Nahrung unterschied sich jetzt von der der ersten Periode um 100 g Alkohol. Neumann bezieht den jetzt beobachteten Stickstoffansatz auf den Alkohol, indem er die vierte Periode mit der ersten vergleicht. Ich habe demgegenüber betont, dass man zunächst nur direct auf einander folgende Perioden mit einander vergleichen könnte, weil die Wirkung einer bestimmten Ernährung auf den Körper sich immer nach der unmittelbar vorhergehenden Ernährungsweise richtet. Der Stickstoffansatz in der vierten Periode ist daher auf die Fettzulage zurückzuführen. Dieser mein Einwand gegen die vierte Periode des Neumann'schen Versuches ist meiner Meinung nach so zutreffend, dass ich auch heute noch, wo ich mich überzeugt habe, dass der Alkohol eiweisssparend wirken kann, gleichwohl der festen Ueberzeugung bin, dass der Stickstoffansatz der vierten Periode des Neumann'schen Versuches mit Sicherheit auf die Fettzulage zurückzuführen ist. Rosenfeld, der selbst auf Grund seines Versuches die eiweisssparende Wirkung des Alkohols für erwiesen erachtete, hat sich gleichwohl ebenfalls meiner Auffassung der vierten Periode des Neumann'schen Versuches völlig angeschlossen. Neumann citirt freilich Rosenfeld nur dann, wenn er etwas gegen mich gesagt hat. Ich führe daher die folgende Stelle aus Rosenfeld's Arbeit an[2]):

„Leider ist Neumann's Deutung seines Versuches für die vierte Periode nicht zulässig . . . .“ „Neumann übersah aber — was Rosemann in seiner Kritik des Neumann'schen Versuches mit Recht hervorhebt —, dass die Sparwirkung in Periode 4 doch nicht dem Alkohol zu verdanken ist. Die Alkoholmengen sind in Periode 3 und 4 dieselben; nur die Fettmengen in Periode 4 sind gesteigert: folglich ist nur diesem Fettzuwachs der Eiweissansatz zuzuschreiben.“

Und in demselben Sinne spricht sich Rosenfeld in seiner neuesten Schrift über den Alkohol aus, indem er sagt[3]):

---

1) Von mir gesperrt gedruckt.

2) Therapie der Gegenwart 1900. Sep.-Abdr. S. 4.

3) Rosenfeld, Der Einfluss des Alkohols auf den Organismus S. 14. Wiesbaden 1901.

„In der vierten Periode kann man nicht, wie Neumann es thut, dem Alkohol den Eiweissansatz zuschreiben: denn in diesem Versuchsabschnitt sind nur die 78 g Fett neu hinzugetreten, und ihnen ist — wie Rosemann richtig hervorhebt — die Eiweiss-Sparwirkung zu danken."

Neumann ist aber gleichwohl nach wie vor der Meinung, dass meine Auffassung von der vierten Periode seines Versuchs falsch ist. Er sieht gar keinen Grund ein, warum man nicht die vierte Periode mit der ersten und fünften vergleichen sollte. Er sagt[1]):

„Es ist gar nicht richtig, was Rosemann zur Erklärung hinzufügt, dass die Wirkung einer bestimmten Ernährung auf den Körper sich immer nach der vorhergehenden Ernährungsweise richten muss. Die Perioden sind vielmehr zum Theil ganz unabhängig von einander, da, weil in jeder Periode etwas Anderes bewiesen werden soll, die Vorbedingungen dazu andere sind. Sie werden nur insofern von einander abhängig, weil wir bei einem mehrere Perioden umfassenden Versuche sie an einander anschliessen müssen, um den ganzen Versuch nicht zu stören. Dann sehen wir allerdings fast immer den ersten Tag der neuen Periode in gewisser Abhängigkeit von der vorhergehenden. Das wünschen wir aber gar nicht, und es wäre viel besser, wenn wir technisch diese Calamität ausschliessen könnten."

Im Anfang dieses Passus sagt Neumann meiner Meinung nach das directe Gegentheil von dem, was er am Schlusse sagt. Er behauptet zunächst, es sei gar nicht richtig, dass die Wirkung einer bestimmten Ernährung auf den Körper sich immer nach der vorhergehenden Ernährung richten müsste. Aber am Schlusse gibt er es zu, allerdings nur für den ersten Tag. Was soll es aber heissen, wenn Neumann fortfährt: „Das wünschen wir aber gar nicht, und es wäre viel besser, wenn wir technisch diese Calamität ausschliessen könnten"? In bin selten so einer Meinung mit Neumann gewesen wie in diesem Falle. Gewiss wünschen wir es nicht, gewiss können wir diese technische Calamität nicht ausschliessen, aber weil wir sie eben nicht ausschliessen können, so muss sie Berücksichtigung finden, und bei der Beurtheilung des Resultates einer bestimmten Ernährungsweise muss zunächst immer auf die vorhergehende Periode zurückgegriffen werden.

1) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 93.

Der zweite Neumann'sche Alkoholversuch.

Die Schilderung seines zweiten Alkoholversuches beginnt Neumann mit den Worten[1]):

„Um diesen Versuch so zu gestalten, dass der Gang desselben leicht zu beurtheilen sei, habe ich zunächst die Anordnung so getroffen, dass der Alkohol zur genügenden Nahrung zugegeben wurde."

„Falls dann wirklich ein Eiweissansatz erfolgte, so musste er mit Sicherheit auf den Alkohol zurückzuführen sein."

Wenn Neumann hier ausdrücklich sagt, dass er seinen zweiten Alkoholversuch anders eingerichtet habe wie den ersten, „damit der Gang desselben leicht zu beurtheilen sei", und „damit das Resultat mit Sicherheit auf den Alkohol zurückgeführt werden müsste", gibt er damit nicht selbst zu, dass der Gang des ersten Versuches in Folge der anderen Anordnung eben nicht leicht zu beurtheilen sei und das Resultat nicht mit Sicherheit auf den Alkohol zurückgeführt werden musste? Und dann sind wir ja hinsichtlich des ersten Neumann'schen Versuchs ganz einer Meinung!

Ich habe bereits in meiner letzten Alkoholarbeit gesagt, dass die Anordnung des zweiten Neumann'schen Versuches eine ungleich bessere wäre als die des ersten, und dass ich diesen zweiten Versuch für ebenso beweiskräftig halte, wie ich den ersten als zweifelhaft ansehe. Der zweite Neumann'sche Versuch bringt ebenso wie meine beiden Stoffwechsel-Versuche und der Clopatt'sche Versuch den einwandsfreien Beweis, dass der Alkohol eiweisssparend zu wirken vermag. Neumann hält es allerdings für möglich, dass ich das nicht würde zugeben wollen, dass ich wieder versuchen würde, zu sagen, es wäre auch ohne Alkohol so gekommen. Er sagt wörtlich[2]):

„Rosemann sagte in seiner Kritik S. 18: ‚Wäre dem wirklich so — nämlich ein Stickstoffansatz nach Alkoholgaben zur genügenden Nahrung —, es wäre alsdann nicht zweifelhaft, dass der Alkohol als Eiweisssparer gewirkt haben würde.' Nun, die Thatsache besteht jetzt, es ist Stickstoffansatz eingetreten, — also wird Rosemann seine eigenen Worte nicht zurücknehmen

1) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 95.

2) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 103.

und andererseits auch nicht behaupten können, es wäre auch ohne Alkohol dasselbe eingetreten."

Welche Vorstellung muss Neumann von meiner wissenschaftlichen Thätigkeit haben, wenn er mir zutraut, dass ich einfach bei jedem Versuche den thörichten Einwand erheben würde, es wäre auch ohne Alkohol so gekommen? Ich habe diesen Einwand da erhoben, wo es sich auf Grund von allgemein anerkannten Gesetzen des Stoffwechsels beweisen liess, dass es auch ohne Alkohol so hätte kommen können. Gegenüber dem zweiten Neumann'schen Versuch kann man das nicht sagen, und so wird kein vernünftiger Mensch diesen Einwand hier erheben. Neumann stellt es so dar, als ob ich, auf meiner Anschauung bestehend, unter keinen Umständen eines Besseren zu belehren wäre. Er hätte aus meiner letzten Alkoholarbeit ersehen können, dass ich ohne jedes Widerstreben sofort dem Satze zugestimmt habe: der Alkohol wirkt eiweisssparend, als durch meine beiden Versuche, den zweiten Neumann'schen und den Clopatt'schen Versuch dieser Satz bewiesen war. Durch den ersten Neumann'schen Versuch war er es aber eben nicht [1]).

Der Schmidt'sche Versuch.

Im Versuche von Schmidt legt Neumann grosses Gewicht darauf, dass die Gesammt-N-Ausscheidung stark schwankt. Er sagt [2]):

---

1) Auch in seinem Autoreferat (Münchner medicin. Wochenschr. 1901 S. 1979) stellt Neumann es wiederum so dar, als ob ich nur mit innerstem Widerstreben die Wahrheit des Satzes, dass der Alkohol eiweisssparend wirke, anerkannt habe. Er sagt: „Unterdessen hat übrigens Rosemann die Richtigkeit der Neumann'schen Resultate selbst anerkennen müssen (von mir gesperrt gedruckt), da er auf Grund neu angestellter Versuche nicht länger auf dem entgegengesetzten Standpunkte beharren konnte (von mir gesperrt gedruckt)." Danach muss der Leser den Eindruck gewinnen, als ob ich mich so lange wie möglich gegen die Erkenntniss der Wahrheit verschlossen und sie schliesslich nur gezwungen anerkannt hätte. Wer meine letzte Arbeit wirklich liest, wird finden, dass das ganz und gar nicht zutreffend ist, und dass Neumann sich wohl anders hätte ausdrücken sollen. Ich habe die Anschauung, dass der Alkohol eiweisssparend wirkt, so lange bekämpft, als sie nicht bewiesen war. Sowie dies der Fall war, habe ich sie — wie selbstverständlich — anerkannt. Jedermann weiss, dass der Entwicklungsgang der Wissenschaft von mangelnder Erkenntniss zu besserer fortschreitet, und kein wissenschaftlich Denkender wird sich dem widersetzen wollen.

2) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 106.

„Rosemann resp. Schmidt sagt nun über seinen Versuch:

‚Wie man sieht, schwankt die Gesammt-N-Ausscheidung an den einzelnen Tagen ziemlich stark. Es wird dies bei eiweissreicher Nahrung beim Menschen immer mehr oder weniger beobachtet.‘

„An anderer Stelle sagt Rosemann aber auch über Schoeneseiffen's Versuch: — ‚Dass gleichwohl die Schwankungen — in der N-Bilanz — nicht unbeträchtlich sind, ist leicht verständlich, wenn man daran denkt, dass es sich um eine ungenügende Nahrung handelte.‘

„Hier soll also ein Mal die eiweissreiche, das andere Mal die ungenügende Nahrung an der ungleichmässigen N-Ausfuhr schuld sein, eine Thatsache, die bei den Versuchen Anderer und meinen Versuchen nicht zu bemerken ist.“

Neumann findet es also wunderbar, dass ein Mal eine eiweissreiche Kost, das andere Mal eine ungenügende Nahrung der Grund für die Schwankungen in der Stickstoffausscheidung sein soll. Er scheint danach zu glauben, dass „eiweissreich“ und „ungenügend“ Gegensätze sind; denn nur wenn das der Fall wäre, wären meine Behauptungen so wunderbar, wie sie ihm scheinen. Nun weiss Jedermann, dass eine eiweissreiche Nahrung ebenso eine genügende wie eine ungenügende sein kann. Der Gegensatz von eiweissreich ist eiweissarm und von ungenügend genügend. Hätte ich also etwa ein Mal gesagt: die Ursache der Schwankungen ist die eiweissreiche Nahrung, und ein anderes Mal: die Ursache der Schwankungen ist die eiweissarme Nahrung, dann hätte ich einen Widersinn ausgesprochen. Oder hätte ich ein Mal gesagt: die Ursache der Schwankungen ist eine genügende Nahrung, und das andere Mal: die Ursache der Schwankungen ist eine ungenügende Nahrung, dann hätte ich gleichfalls einen Widersinn ausgesprochen. Was ich gesagt habe, ist aber, wie man sieht, ganz etwas Anderes. Ich bin auch noch jetzt der Meinung, dass einerseits bei eiweissreicher Nahrung, andererseits bei ungenügender Nahrung leicht Schwankungen in der Stickstoffausscheidung vorkommen können. Nun sagt Neumann: „eine Thatsache, die bei den Versuchen Anderer und meinen Versuchen nicht zu bemerken ist“. Diese Behauptung Neumann's beweist nur die kaum glaubliche Oberflächlichkeit, mit der er die Arbeiten Anderer liest. Denn die Thatsache, dass bei eiweissreicher Nahrung leicht Schwankungen in der

Stickstoffausscheidung vorkommen, ist allerdings bei den Versuchen Anderer bemerkt worden, und Schmidt gibt in seiner Dissertation sogar selbst die betreffende Stelle, nämlich in Miura's Arbeit an[1]). Dieselbe lautet:

„Die N-Bilanz des Körpers war schwieriger in ein Gleichmaass der Eiweiss-Zersetzung zu bringen als das erste Mal; das stimmt mit vielfachen Erfahrungen von Noorden's (mündliche Mittheilung): Unter grosser Eiweisszufuhr schwankt die tägliche N-Ausscheidung des Menschen viel stärker von Tag zu Tag als bei wenig Eiweiss."

Die Miura'sche Arbeit ist Neumann bekannt, denn er citirt sie mehrfach; man müsste also annehmen, dass er sie auch gelesen hat. Und selbst wenn er sie nicht gelesen hätte, sollte er durch das Citat in der Schmidt'schen Arbeit auf diese Stelle hingewiesen worden sein. Gleichwohl behauptet er kurzweg, dass „diese Thatsache bei den Versuchen Anderer nicht zu bemerken sei"! Ich hoffe, dass, wenn eine Autorität wie von Noorden bei seinen vielfältigen Stoffwechselversuchen diese Erfahrung gemacht hat, sie Neumann vielleicht gelten lässt. Ich möchte noch bemerken, dass ich für die Schwankungen in der Stickstoffausscheidung im Schöneseiffen'schen Versuch nicht nur die ungenügende Nahrung angeführt habe, sondern auch noch andere Momente, die an der betreffenden Stelle[2]) nachzulesen sind. Davon aber erwähnt Neumann nichts. Er lässt einfach Alles weg, so dass der Leser glauben muss, ich hätte die betreffenden Schwankungen einzig und allein auf die ungenügende Ernährung zurückgeführt.

Neumann fährt fort[3]): „Die Schwankungen sind so bedeutend, dass man sich genöthigt sah, ‚etwas längere Zeiträume, z. B. zwei auf einander folgende Tage (!), in Betracht' zu ziehen und die oben stehende umgerechnete Bilanz zur Beurtheilung der Versuche heranzuziehen, — ein Verfahren übrigens, welches meines Wissens sonst nicht geübt wird, und dessen Sicherheit sehr zu bezweifeln sein dürfte."

Und der nächste Satz beginnt mit den Worten: „Rosemann zieht nun aus seiner Bilanz folgenden summarischen Schluss . . ."

---

1) Schmidt, Inaug.-Diss. S. 17. Greifswald 1898. — Miura, Zeitschr. f. klin. Medicin Bd. 20 H. 1 u. 2.

2) Dieses Archiv Bd. 77 S. 409.

3) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 107.

Muss der Leser hier nicht glauben, auch ich hätte die umgerechnete Bilanz des Schmidt'schen Versuchs meinen Erörterungen zu Grunde gelegt? Muss der Leser nicht glauben, dass ich meine Schlüsse nur auf Grund dieser umgerechneten Bilanz ziehen kann? Wird wohl der Leser von selbst auf die Vorstellung kommen, dass ich in meiner Besprechung des Schmidt'schen Versuchs niemals die umgerechnete Bilanz zu Grunde gelegt habe?! Schmidt hat in seiner Doctordissertation diese Umrechnung ausgeführt, weil dadurch der Gang der Stickstoffausscheidung in der Vorperiode ein sehr regelmässiger wird und dadurch die Anschauung gestützt wird, dass es sich bei diesen Schwankungen um Retentionserscheinungen handelt. Diese Umrechnung ist aber im Uebrigen völlig gleichgültig, und ich habe mich bei meinen Ausführungen immer auf die wirkliche Bilanz des Schmidt'schen Versuchs bezogen. Wenn Neumann sich so ausdrückt: „Die Schwankungen sind so bedeutend, dass man sich genöthigt sah, etwas längere Zeiträume in Betracht zu ziehen und die obenstehende umgerechnete Bilanz zur Beurtheilung der Versuche heranzuziehen,“ sagt dann nicht der Ausdruck: „man sah sich genöthigt“, dass man nur auf Grund dieser umgerechneten Bilanz überhaupt Schlüsse ziehen kann? Hat Neumann wirklich nicht gewusst, dass ich meine Schlüsse auf Grund der wirklichen Bilanz gezogen habe, so zeihe ich ihn wiederum unentschuldbarer Oberflächlichkeit. Hat er es gewusst, so wäre er wohl verpflichtet gewesen, dies deutlich zum Ausdruck zu bringen.

Neumann fährt fort[1]): „Rosemann zieht nun aus seiner Bilanz folgenden summarischen Schluss: „Sieht man von diesen unbedeutenden (vorher waren sie ‚ziemlich starke‘. Ref.) Schwankungen ab, so ....“ Hier wird mir also der Vorwurf gemacht, ich hätte dieselben Schwankungen ein Mal „unbedeutende“, ein Mal „ziemlich starke“ genannt, ganz, wie es mir passt. An keiner Stelle seiner ganzen Entgegnung ist das Verfahren Neumann's so unerhört wie hier. Wird der Leser es für möglich halten, dass meine Ausdrücke „unbedeutende“ und „ziemlich starke“ sich auf zwei ganz verschiedene Dinge beziehen? Die Schwankungen der Gesammtstickstoff-Ausscheidung

1) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 108.

an den einzelnen Tagen liegen im Schmidt'schen Versuche zwischen — 0,80 und + 1,60. Diese Schwankungen hat Schmidt „ziemlich starke“, ich „starke“ genannt. Die entsprechenden Stellen lauten in der Schmidt'schen Arbeit[1]): „Wie man aus dieser Tabelle ersieht, schwankt die Gesammt-N-Ausscheidung an den einzelnen Tagen[2]) ziemlich stark,“ und ich sage[3]): „In der Vorperiode schwanken die Werthe der Stickstoffausscheidung stark auf und ab. Die Stickstoffbilanz ist von einem Tage zum anderen[2]) abwechselnd positiv und negativ.“ Ich denke, diese Sätze sagen deutlich genug, dass wir die Schwankungen der Stickstoffausscheidung an den einzelnen Tagen „ziemlich stark“ genannt haben. Dann habe ich das Mittel der Stickstoffausscheidung der einzelnen Perioden gezogen. Die Bilanz beträgt in der Vorperiode im Mittel + 0,04, in der Alkoholperiode — 0,20, in der Nachperiode + 0,18. Und im Anschluss an diese Tabelle sage ich: „Sieht man von diesen unbedeutenden Schwankungen überhaupt ab ....“ Hier bezieht sich also das Wort „unbedeutende“ auf die Schwankungen der mittleren Stickstoffausscheidung der einzelnen Perioden. Ist es erhört, dass Neumann es gleichwohl so darstellt, als ob die beiden Ausdrücke „unbedeutend“ und „ziemlich stark“ sich auf dasselbe beziehen? Auch hier kann ich den Grund dieses Verhaltens nur in der unglaublichen Oberflächlichkeit finden, mit der Neumann bei Citaten aus meinen Arbeiten verfährt.

Was nun den aus dem Schmidt'schen Versuch zu ziehenden Schluss anlangt, so soll ich mir hier nach Neumann selbst direct widersprochen haben. Neumann sagt[4]):

„Rosemann zieht nun aus seiner Bilanz folgenden summarischen Schluss: Sieht man von diesen unbedeutenden (vorher waren sie, ‚ziemlich starke‘. Ref.) Schwankungen ab, so kann man das Resultat des Versuchs dahin zusammenfassen, dass sowohl vor, wie während und nach der Alkoholperiode das Gleichgewicht unverändert geblieben ist. Der Alkohol vermochte also in diesem Falle, zu einer ausreichenden Nahrung hinzugefügt, keinerlei Eiweiss-Ansatz zu bewirken.“

---

1) Schmidt, Inaug.-Diss. S. 17. Greifswald 1898.

2) Von mir gesperrt gedruckt.

3) Zeitschrift für diätetische und physikalische Therapie 1898.

4) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 108.

„An anderer Stelle lesen wir aber von Rosemann über den Schmidt'schen Versuch: „Man wird diesen Stickstoffansatz (in der Nachperiode) am besten als eine indirecte Folge des Alkohols aufzufassen haben: Der Körper hat während der Alkoholperiode Fett angesetzt, und dieses übt seine eiweisssparende Wirkung auf den Eiweissbestand aus."

„Also das eine Mal sagt Rosemann, es sei in der Nachperiode ein unverändertes Gleichgewicht vorhanden und keinerlei Eiweissansatz bewirkt worden, das andere Mal aber, es sei doch ein Stickstoffansatz da, den der Alkohol indirect bewirkt habe."

„Wenn aber von Rosemann selbst über einen und denselben Versuch so widersprechend geurtheilt wird, so ist nur der eine Schluss möglich, dass die Resultate nicht eindeutig sind."

Ich muss hier zunächst Gewicht darauf legen, dass Neumann den zweiten Passus mit den Worten beginnt: „an anderer Stelle lesen wir aber von Rosemann . . . ." Der Leser muss hier glauben, dass der erste Passus in einer meiner Publicationen sich findet und der zweite in einer anderen Veröffentlichung, um so mehr, als Neumann für beide Stellen zwei verschiedene Arbeiten von mir citirt, und dass es erst Neumann gelungen ist, diese beiden sich widersprechenden Sätze aufzufinden und zusammenzustellen. Dem ist aber ganz und gar nicht so. Beide Sätze stehen in der Arbeit, in welcher ich den Schmidt'schen Versuch zuerst besprach [1]) und folgen, durch wenige Zwischensätze unterbrochen, direct auf einander. In meiner Kritik des Neumann'schen Versuchs habe ich aber das Resultat des Schmidt'schen Versuchs mit beinahe denselben Worten zusammengefasst. Neumann gibt nun für meine beiden Sätze, obwohl sie auch an derselben Stelle stehen, Citate aus zwei verschiedenen Arbeiten und erweckt dadurch bei dem Leser eine ganz falsche Vorstellung.

Die Thatsache, dass die beiden Sätze so direct auf einander folgen, lässt schon vermuthen, dass sie unmöglich in einem derartigen Widerspruch stehen können, wie es nach der Neumann'schen Darstellung erscheint. Auch hier liegt der Grund des scheinbaren Widerspruchs nur darin, dass Neumann in dem zweiten Passus zu meinen Worten „man wird den Stickstoffansatz" einfach in

1) Zeitschrift für diätetische und physikalische Therapie 1898.

Klammern hinzufügt: „in der Nachperiode". Nun muss es freilich so erscheinen, als ob ich sagte: „In der Nachperiode ist keinerlei Eiweissansatz bewirkt worden", und ein ander Mal, es sei doch ein Stickstoffansatz in der Nachperiode vorhanden. Dieser Zusatz, den Neumann meinen Worten gibt, ist aber der ganze Grund des scheinbaren Widerspruchs. Der Stickstoffansatz, von dem ich in dem zweiten Passus spreche, ist nicht „in der Nachperiode" schlechtweg vorhanden, sondern am ersten Tage der Nachperiode, wie an der betreffenden Stelle ausdrücklich von mir hervorgehoben wird. Die Sache liegt also ganz einfach so: am ersten Tage der Nachperiode ist ein Stickstoffansatz vorhanden, den ich als indirecte Sparwirkung des Alkohols auffassen wollte. Rechnet man dagegen das Mittel der ganzen Nachperiode, so verschwindet der Stickstoffansatz. Ist das etwas so Wunderbares und Unbegreifliches? Ist es wirklich Neumann bei der Betrachtung von Tabellen über Stoffwechselversuche noch niemals aufgefallen, dass an einem Tage einer Periode sehr wohl ein Stickstoffansatz bestehen kann, dass aber, wenn man das Mittel der ganzen Periode betrachtet, kein Stickstoffansatz vorhanden ist?

Neumann meint, dass die Resultate des Schmidt'schen Versuchs nicht eindeutig seien, und citirt dafür einen Ausspruch Rosenfeld's, den er sogar zwei Mal in seiner Schrift anführt, leider beide Male nicht so, wie Rosenfeld ihn abgefasst hat, sondern in willkürlich veränderter Form. Das eine Mal sagt Neumann[1]): „Rosenfeld präcisirt die Resultate des Schmidt'schen Versuchs dahin, dass man sowohl einen kleinen Stickstoffansatz, als auch einen Stickstoffverlust herauslesen kann, also mit anderen Worten gar nichts daraus entnehmen kann." Wenn Rosenfeld die Resultate des Schmidt-schen Versuchs in irgend einer Weise „präcisirt", so wäre es sehr anerkennenswerth von Neumann, wenn er die Aussprüche Rosenfeld's auch präcise wiedergäbe. Das zweite Mal heisst es bei Neumann[2]): „Es kann eben aus diesem Versuch, wie schon Rosenfeld ganz richtig bemerkt hat, sowohl eine geringe Mehrausscheidung von Stickstoff, als auch eine Sparwirkung des Alkohols herausgelesen werden." Wenn Rosenfeld etwas „ganz richtig" bemerkt hat, so wäre es wiederum sehr anerkennenswerth von Neumann, wenn er

1) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 94.
2) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 108.

die Aussprüche Rosenfeld's auch ganz richtig wiedergäbe. Rosenfeld hat nämlich gesagt[1]): „Alles in Allem kann man aus dem Schmidt'schen Versuch sowohl eine — minimale — Sparwirkung als auch das Gegentheil herauslesen." Man beachte wohl: Rosenfeld spricht von einer „minimalen" Sparwirkung; das Wort „minimal" ist sogar durch die Gedankenstriche besonders hervorgehoben. In der Neumann'schen Wiedergabe wird aus dieser „minimalen" Sparwirkung erst ein „kleiner Stickstoffansatz" und schliesslich sogar „eine Sparwirkung des Alkohols" schlechtweg. Neumann lässt das von Rosenfeld ausdrücklich hervorgehobene Wort „minimal" einfach fort. Sind Neumann wirklich gar keine Gedanken gekommen, ob man ein so gewichtiges Wort wie „minimal" einfach fortlassen könnte? Rosenfeld hat gesagt: „Man kann aus dem Schmidt'schen Versuch sowohl eine minimale Sparwirkung herauslesen als auch das Gegentheil." Setzen wir einmal für „das Gegentheil" die Worte „keine Sparwirkung" oder „sogar einen Eiweissverlust" ein, was offenbar das bedeutet, was Rosenfeld sagen will, so bekommen wir den Satz: Man kann aus dem Schmidt'schen Versuch sowohl eine minimale Sparwirkung als auch gar keine Sparwirkung oder sogar einen Eiweissverlust herauslesen. Ist das nun wirklich dasselbe, wie wenn Neumann sagt, man kann gar nichts daraus entnehmen? Ich will Neumann in der logischen Auffassung des Satzes durch ein Beispiel nachhelfen. Wenn ich sage: ich schliesse aus irgend einer Thatsache, dass ein Mensch entweder ein minimales Vermögen hat, oder dass er gar kein Vermögen hat, oder dass er sogar Schulden hat, heisst das wirklich so viel als: ich kann nicht sagen, ob der Mann arm oder reich ist? Ich denke, das heisst: der Mann ist arm, denn ein minimales Vermögen ist so gut wie gar kein Vermögen. Wenn also Rosenfeld sagt: Aus dem Schmidtschen Versuch kann man sowohl eine minimale Sparwirkung als auch gar keine Sparwirkung oder sogar einen Eiweissverlust herauslesen, heisst das wirklich so viel als: man kann gar nichts daraus entnehmen, ob der Alkohol eiweisssparend wirkt oder nicht? Ich denke, das heisst ebenso viel wie: der Alkohol wirkt nicht eiweisssparend. Denn eine minimale Sparwirkung ist bei der grossen hier verabreichten Alkoholmenge so gut wie keine Sparwirkung[2]).

1) Therapie der Gegenwart. Februar 1900.

2) Vgl. dieses Archiv Bd. 86 S. 331.

Man sieht also, wie viel in dem Rosenfeld'schen Ausspruch auf das Wörtchen „minimal" ankommt, das Neumann einfach weglässt. Wer aus den Worten anderer Schlüsse ziehen will, soll diese Worte ebenso zu Grunde legen, wie die anderen sie ausgesprochen haben. Aber Neumann geht mit den Worten Anderer, mögen sie nun von Rosenfeld oder von mir stammen, nach seinem Belieben um, so wie es ihm gerade passt.

Der Schoeneseiffen'sche Versuch.

Gegen den Schoeneseiffen'schen Versuch erhebt Neumann immer wieder den Einwand, dass Schoeneseiffen eine ungeeignete Versuchsperson war. Ich gebe hier den betreffenden Passus aus seiner Entgegnung wieder[1]):

„Ich halte also meine Ansicht, dass nur lange Perioden etwas Sicheres beweisen können, vollständig aufrecht, besonders wenn wir es mit Versuchsindividuen zu thun haben, die wenig geeignet sind. Und dass dies auch bei Schoeneseiffen der Fall war, gibt Rosemann zu; wir sehen es auch an der unregelmässigen Stuhlentleerung in der dritten Periode und der ausserordentlich schwankenden Harnentleerung in der zweiten Periode (erster Tag 1965; zweiter Tag 648; dritter Tag 1495; vierter Tag 735; fünfter Tag 1235; sechster Tag 1505 ccm). Die Folge der unregelmässigen Stuhlentleerung war sogar so, dass Schoeneseiffen sich, um richtigere Werthe zu erhalten, genöthigt sah, die Stickstoffmenge der Vorperiode für die Stickstoffmenge der dritten Periode einzusetzen (!!), und musste dann noch gestehen, dass ‚bei der Unsicherheit der Grundlagen der Rechnung freilich diesem Resultat nicht viel Gewicht beizumessen sei'."

„Wenn dann Rosemann aber gar noch schreibt ‚derartige kleine Störungen im Befinden üben niemals irgend einen Einfluss auf die Zersetzungen im Körper aus', so darf man mit Recht an der objectiven Beurtheilung dieses Versuches zweifeln."

„Ich finde auch darin keinen Entschuldigungsgrund für die unsicheren Resultate, wenn Rosemann sagt, es sei sehr schwer, ge-

1) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 92.

eignete Versuchsindividuen zu finden. Dann sollten eben richtiger die Versuche abgebrochen werden oder ganz unterbleiben, bis geeignetere Personen gefunden sind. Die Beurtheilung der Frage konnte dadurch nur gefördert werden."

Ich soll also zugegeben haben, dass Schoeneseiffen ein „wenig geeignetes Versuchsindividuum" war, ich soll gesagt haben, „es sei sehr schwer, geeignete Versuchsindividuen zu finden". Ich soll das sogar so zu sagen als einen „Entschuldigungsgrund für die unsicheren Resultate" angeführt haben. Wahrlich, wenn ich das gesagt hätte, verdiente ich die Abfertigung, die Neumann mir zu Theil werden lässt. Wenn zu einem Versuch geeignete Versuchsindividuen schwer zu finden sind, dann ist das wahrlich kein Grund dafür, den Versuch an ungeeigneten Personen auszuführen. Neumann verfährt auch hier in der Weise, dass er mir eine Thorheit in den Mund legt und dann nachweist, wie unendlich thöricht dieselbe ist. Leider habe ich nur nicht das gesagt, was Neumann mich sagen lässt. Ich habe sogar das gerade Gegentheil gesagt.

Ich habe zunächst nicht zugegeben, dass Schoeneseiffen ein „wenig geeignetes Versuchsindividuum" war. Die betreffende Stelle aus meiner Schrift heisst wörtlich[1]):

„Es unterliegt gewiss keinem Zweifel, dass Neumann für die Anstellung von Stoffwechsel-Versuchen eine ausserordentlich geeignete Versuchsperson ist. Das beweist doch aber noch nicht, dass desswegen die Resultate, die an einer weniger geeigneten Versuchsperson gefunden wurden, unrichtig sein müssen."

Ich habe also gesagt, dass Neumann eine ausserordentlich geeignete Versuchsperson ist, und dass Schoeneseiffen „weniger geeignet ist als Neumann". Ist das wirklich dasselbe, als ob ich gesagt hätte: Schoeneseiffen ist schlechtweg „wenig geeignet"? Ist dieser Unterschied wirklich so fein, dass ihn Neumann nicht doch bei einigem Nachdenken allein hätte finden können? Ich habe ebenso wenig gesagt, „es sei sehr schwer, geeignete Versuchsindividuen zu finden". Die betreffende Stelle aus meiner Arbeit lautet[2]).

„Jedermann, der Stoffwechsel-Versuche am Menschen angestellt hat, wird wissen, dass die eigenartige Ernährung, die Gleichmässig-

1) Dieses Archiv Bd. 77 S. 411.
2) Dieses Archiv Bd. 77 S. 411.

keit der Nahrung u. s. w. von der Mehrzahl der Versuchspersonen unangenehm empfunden werden. Kommt dazu noch, wie bei Schoeneseiffen, eine unregelmässige Stuhlentleerung und eine so reichliche Alkoholaufnahme, so wird es Niemand Wunder nehmen, wenn die Versuchsperson ihr Befinden als angegriffen bezeichnet. Derartige kleine Störungen des Befindens üben aber niemals irgend einen Einfluss auf die Zersetzungen im Körper aus. Im anderen Falle würde es wohl sehr schwer sein, überhaupt geeignete Personen zu Stoffwechsel-Versuchen am Menschen zu finden."

Ich habe also gesagt: **Falls** kleine Störungen des Befindens irgend einen Einfluss auf die Zersetzungen im Körper ausüben **würden, dann würde** es wohl sehr schwer sein, überhaupt geeignete Personen zu Stoffwechsel-Versuchen zu finden. Heisst das denn nicht mit anderen Worten: Da kleine Störungen im Befinden keinen Einfluss auf die Zersetzungen im Körper ausüben, so ist es nicht schwer, geeignete Personen zu Stoffwechsel-Versuchen zu finden? Ich habe mithin das directe Gegentheil von dem gesagt, was Neumann mich sagen lässt.

Ich bin auch noch heute der Meinung, dass man einen Stoffwechsel-Versuch an jedem gesunden Menschen anstellen kann. Der Eine mag technisch besser dazu geeignet sein als der Andere; der Eine mag die gleichmässige Kost eines Stoffwechsel-Versuchs ohne Reaction vertragen, der Andere weniger gut; der Eine mag eine gleichmässige Stuhlentleerung besitzen, der Andere eine unregelmässige; das wird technisch den Versuch bald leichter, bald schwieriger gestalten, aber die Resultate können dadurch nicht beeinträchtigt werden.

Neumann legt einen besonderen Werth darauf, dass die Stuhlentleerung bei ihm sehr regelmässig erfolgte, und es scheint so, als ob er nur solche Personen für „geeignet" zu Stoffwechsel-Versuchen ansieht, die eine ebenso regelmässige Stuhlentleerung besitzen wie er. Wenn das der Fall wäre, wozu hätten dann die klassischen Untersucher des Stoffwechsels die Methode der Abgrenzung des Kothes ersinnen müssen? Neumann braucht dieselbe nicht. Und das ist technisch gewiss sehr angenehm. Aber eine Unzahl von Stoffwechsel-Versuchen der berühmtesten Autoren sind an Personen ausgeführt, die keine so regelmässige Stuhlentleerung besassen wie Neumann, die daher eine Abgrenzung des Kothes ausführen mussten, die also „weniger geeignete Versuchsindividuen

waren als Neumann". Sind desswegen alle diese Versuche an „wenig geeigneten Versuchspersonen" angestellt? Eine so regelmässige Stuhlentleerung, wie Neumann sie besitzt, ist etwas so Seltenes, dass z. B. von Noorden in seinem Grundriss einer Methodik der Stoffwechsel-Untersuchungen nicht mit einem Worte das Vorkommen einer derartigen Regelmässigkeit erwähnt, sondern die Abgrenzung des Kothes in allen Fällen für nothwendig hält. Mithin waren alle Versuchspersonen, an denen von Noorden seine ausgedehnten Untersuchungen angestellt hat, „weniger geeignet im technischen Sinne als Neumann". Waren sie desswegen allesammt „wenig geeignet"?

Aber, so sagt Neumann, die Stuhlentleerung bei Schoeneseiffen war ganz besonders unregelmässig. „Die Folge der unregelmässigen Stuhlentleerung war sogar so, dass Schoeneseiffen sich, um richtigere Werthe zu erhalten, genöthig sah, die Stickstoffmenge der Vorperiode für die Stickstoffmenge der dritten Periode einzusetzen (!!), und musste dann noch gestehen, dass ‚bei der Unsicherheit der Grundlagen der Rechnung freilich diesem Resultat nicht viel Gewicht beizumessen sei'."

Aus dieser Bemerkung Neumann's ersieht man nur, dass er meine Kritik ohne jede Aufmerksamkeit gelesen hat. Ich habe dort bereits ausführlich auseinandergesetzt[1]), dass nur in der dritten Periode des Schoeneseiffen'schen Versuchs die Stuhlentleerung der Versuchsperson so unregelmässig war, dass die Abgrenzung am Schluss der dritten Periode ungenau wurde. Die Stuhlentleerung in der zweiten und dritten Periode war dagegen keineswegs in dem Grade unregelmässig, die Abgrenzung des Kothes der Vor- und Alkoholperiode durchaus genau. Schoeneseiffen hat in Folge dessen den Stickstoffwerth des Kothes der dritten Periode wegen der Ungenauigkeit desselben verworfen. Er sagt dann, man dürfte „der Wahrheit am nächsten kommen", wenn man dafür die Stickstoffmenge der Faeces der Vorperiode einsetzt. Er hat aber bei der Unsicherheit der Grundlagen der Rechnung diesem Resultat nicht viel Gewicht beigelegt. Das heisst mit anderen Worten: Er hat auf die dritte Periode seines Versuches überhaupt verzichtet, und das konnte er, weil das Resultat seines Versuchs aus der ersten und zweiten Periode mit ihren durchaus genauen Stickstoffwerthen des Kothes

1) Dieses Archiv Bd. 77 S. 410.

allein hervorging. Ich habe hierauf in meiner Kritik des Neumann'schen Versuchs eingehend hingewiesen. Neumann gebraucht hier, wie bereits oben, den Ausdruck: „Man sah sich genöthigt". Der Leser muss denken, dass dies der einzige Ausweg war, um überhaupt ein Resultat aus dem Versuche zu gewinnen. Der Ausdruck ist daher so unpassend wie möglich gewählt. Denn das Resultat des Versuchs wird durch den Ausfall der dritten Periode überhaupt nicht betroffen.

Meine Behauptung: „Derartige kleine Störungen des Befindens üben niemals irgend einen Einfluss auf die Zersetzungen im Körper aus," gibt Neumann zur höchsten Verwunderung Veranlassung. Er druckt das Wort „kleine" fett und zieht aus dieser meiner Behauptung den Schluss, „dass man mit Recht an der objectiven Beurtheilung dieses Versuches zweifeln kann". Er macht mir also den schwersten Vorwurf, den man einem Wissenschaftler machen kann, dass er nämlich seine eigenen Versuche nicht objectiv beurtheilt. Also muss meine Behauptung offenbar falsch sein, ja, sie muss sogar so falsch sein, dass sie gar keiner Widerlegung bedarf. Neumann beschränkt sich darauf, meinen Satz gesperrt, das Wörtchen „klein" fett zu drucken, — damit ist mein Satz widerlegt. Ich hätte es sehr viel richtiger gefunden, wenn Neumann, ehe er eine so schwere Beschuldigung gegen mich erhob, den Beweis angetreten hätte, dass meine Aeusserungen falsch, ja völlig widersinnig seien. Ich habe behauptet, dass kleine Störungen, wie sie dadurch zu Stande kommen, dass das Befinden der Versuchsperson durch die unangenehme Gleichmässigkeit einer eigenartigen Ernährung, durch eine unregelmässige Stuhlentleerung und durch eine reichliche Alkoholaufnahme angegriffen wird, niemals irgend einen Einfluss auf die Zersetzungen im Körper ausüben, und ich würde sehr erfreut sein, wenn mir Neumann irgendwo oder irgendwie den Beweis liefern würde, dass derartige kleine Störungen des Befindens die Zersetzungen im Körper dennoch beeinflussen. Ich zweifle nicht daran, dass in sehr vielen Stoffwechsel-Versuchen derartige kleine Störungen im Befinden der Versuchsperson vorgekommen sind; das dürfte eher die Regel wie die Ausnahme sein. Aber mir ist nicht bekannt, dass jemals ein Autor die Ansicht ausgesprochen hat, dass solche kleine Störungen des Befindens die Zersetzungen im Körper beeinflussen. Es ist charakteristisch für Neumann, dass er einen so schweren Vorwurf, wie es der einer nicht objectiven Beurtheilung

der Versuchsresultate ist, gegen mich erhebt auf Grund eines meiner Sätze, ohne auch nur den Schatten eines Beweises dafür zu liefern, dass mein Satz falsch ist.

Der Offer'sche Versuch.

In meiner ausführlichen Kritik des Offer'schen Versuchs[1]), auf die ich hier in der Hauptsache verweisen muss, habe ich eine Reihe von Bedenken gegen denselben aufgeführt und bin auf Grund derselben zu dem Schlusse gekommen:

„Der Offer'sche Versuch ist in seiner Methodik mangelhaft, die Resultate stehen in directem Gegensatz mit der allgemeinen Erfahrung, ja sogar im directen Gegensatz mit dem Schluss, den Offer selbst daraus zieht. Der ganze Versuch ist daher werthlos und beweist für die vorliegende Frage nicht das Geringste."

Dieses mein Urtheil druckt Neumann wörtlich ab, er hält es aber „nicht für zutreffend", er „wundert sich" über dasselbe und meint: „Die Offer'sche Arbeit verdient nun doch etwas mehr Beachtung, selbst wenn der Autor zu gegentheiligem Schluss gelangt wie Rosemann." Die Gründe für meine Behauptungen werden von Neumann wiederum so gut wie gar nicht erwähnt. Er sagt einfach[2]): „Ich kann hier nicht ausführlich auf die weitere Besprechung der Rosemann'schen Kritik eingehen." Nun verwehre ich gewiss keinem Menschen, anderer Meinung zu sein wie ich. Wenn aber Neumann die Kritik, die ich über den Offer'schen Versuch gefällt habe, überhaupt einer Beurtheilung unterzieht, so sollte man doch erwarten, dass er auch auf die Gründe meiner Kritik eingeht. Sonst ist er eben nicht berechtigt, ein Urtheil über meine Kritik zu fällen. Auch hier sehen wir das übliche Verfahren Neumann's, über die Anschauungen eines Anderen abzuurtheilen, ohne die Gründe desselben auch nur aufzuführen.

Neumann sagt zur Entschuldigung der Offer'schen Arbeit[3]), dieselbe sei „absichtlich kurz gehalten worden und entbehre daher mancher Details". Ich verstehe nicht, was mit diesem Satze gesagt sein soll. Ich habe nie bezweifelt, dass Offer „absichtlich" seinen

1) Dieses Archiv Bd. 79 S. 461.
2) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 112.
3) l. c. S. 111.

Versuch so dargestellt hat, wie er ihn dargestellt hat, aber ob eben diese Absicht zu billigen ist, das scheint mir die grosse Frage. Ein Stoffwechsel-Versuch, dessen Resultate auf Beachtung Anspruch machen, darf nicht „absichtlich kurz“ gehalten sein, darf nicht „mancher“ — ich setze hinzu: wichtiger — „Details entbehren“.

Zum Beweise dafür, dass nicht Alle meine Kritik des Offer'schen Versuches für so unberechtigt halten, kann wiederum das dienen, was Rosenfeld darüber sagt[1]). Er betont, dass Offer mit keiner Silbe davon spricht, ob er seine Nahrungsmittel analysirt hat oder nicht, und wie er eine absolute Gleichmässigkeit der Kost erreicht hat, und fährt dann fort: „Rosemann ist sogar entgegenkommend genug, anzunehmen, dass er es gethan habe: wenn das richtig ist, — nun, so war es immer noch Offer's Pflicht, im Detail anzugeben, wie er die Constanz des N-Gehaltes bei Fleisch und Brot erzielt hat.“ Man sieht, Rosenfeld denkt anders über das Fehlen „mancher Details“ in der Offer'schen Arbeit und findet meine Bemerkungen sogar „entgegenkommend genug“; meine Kritik nennt er „eine in mancherlei Hinsicht sehr berechtigte“. Auch er ist der Meinung, dass, „wenn es in dem Offer'schen Versuch sich um Berechnungen der Nahrungsmittel ohne specielle Analysen handelt resp. eine nicht von vorn herein gleichmässig präparirte Kost, über den Versuch zur Tagesordnung überzugehen sei“. Neumann hat hier also noch „ein vernichtendes Urtheil“ über den Offer'schen Versuch, über das „er sich wundern“ kann.

Inzwischen hat Offer selbst einen neuen Versuch über den Einfluss des Alkohols auf den Eiweiss-Stoffwechsel publicirt[2]). Dabei kommt er in der Einleitung auch kurz auf meine Kritik seines ersten Versuchs zurück und sagt: „Rosemann kritisirte den Versuch, sowie die daran geknüpften Deductionen in einer Weise, dass es mir unmöglich ist, auf seine Angriffe einzugehen, denn eine in solcher Weise geführte Polemik würde schliesslich zu keinem Resultat führen, wenn nicht der eine Theil neues Material zu bringen im Stande wäre, in dem die Mängel berücksichtigt und vermieden werden. Ich habe mich daher bemüht, einen möglichst einwandfreien, neuen Versuch anzustellen“ u. s. w. Gibt Offer hier nicht selbst indirect zu,

---

1) Rosenfeld, Der Einfluss des Alkohols auf den Organismus S. 19. Wiesbaden 1901.

2) Centralbl. f. Stoffwechsel- und Verdauungskrankheiten 1901 Nr. 22.

dass sein erster Versuch „Mängel“ besessen habe, die von ihm jetzt „berücksichtigt und vermieden“ worden sind, dass der erste Versuch eben nicht „möglichst einwandfrei“ war, wie es nun der zweite sein soll? Dann war also meine Kritik doch nicht so ganz unberechtigt. Und in der That unterscheidet sich der zweite Offer'sche Versuch sehr zu seinem Vortheil von dem ersten: die Nahrungsmittel sind vom Verfasser selbst analysirt, die analytischen Resultate wenigstens theilweise angegeben, die Ernährung ist eine ziemlich einfache, es wird mitgetheilt, wie für eine gleichmässige Zusammensetzung der Nahrungsmittel gesorgt worden ist u. s. w. Das sind alles Punkte, auf die ich in meiner Kritik des ersten Offer'schen Versuchs aufmerksam gemacht habe. Ich bin mit diesem Erfolge meiner Kritik sehr zufrieden und kann danach nicht finden, dass sie frucht- und resultatlos gewesen ist [1]).

Ich möchte noch ein besonderes Gewicht auf den Ausdruck Neumann's legen: „Etwas mehr Beachtung, selbst wenn der Autor zu gegentheiligem Schluss gelangt wie Rosemann, verdient sie (die Offer'sche Arbeit) nun doch.“ Hier ist es wieder so dargestellt, als ob mich bei meinem abfälligen Urtheil über den Offer'schen Versuch der Umstand, dass der Autor zu einem gegentheiligen Schluss gelangt wie ich, mit bestimmt hat. Jeder, der meine Kritik gelesen hat, wird mir Recht geben, wenn ich gegen diese Darstellung

1) Auf den neuen von Offer publicirten Versuch näher einzugehen, ist hier nicht der Ort. Nur auf einen Punkt möchte ich schon jetzt aufmerksam machen. In dem Offer'schen Versuch bewirkte der Alkohol, nach vorhergehender Erhöhung der Eiweiss-Zersetzung, einen geringen Ansatz von durchschnittlich 0,23 g N. Eine äquivalente Fettmenge dagegen verursachte einen Stickstoffansatz von 1,57 g N im Mittel, also wesentlich mehr. Offer erklärt diese Erscheinung durch den geringeren Eiweissgehalt der Kost in diesem Versuch auf Grund der früher von von Noorden ausgesprochenen (übrigens durch Miura widerrufenen) Ansicht, dass die Calorien des Alkohols bei eiweissreicher Kost für den Organismus gut, bei eiweissarmer Kost schlecht verwerthet werden, und fährt dann fort: „Auf gleiche Weise erklärt Rosemann das verschiedene Verhalten der eiweisssparenden Wirkung des Alkohols in der ersten Hälfte der Alkoholperiode in seinen Versuchen.“ Das ist aber durchaus irrig. Ich habe das verschiedene Verhalten der Alkoholwirkung im ersten Abschnitt meiner Alkoholperioden nicht erklärt durch den verschiedenen Eiweissgehalt der Kost, sondern durch die besseren Ernährungsverhältnisse in meinem ersten Versuch überhaupt, d. h. doch in erster Linie durch den verschiedenen Caloriengehalt der Nahrung. Ich halte das für wichtig genug, um es gleich hier bei der ersten sich mir bietenden Gelegenheit hervorzuheben.

auf's Energischste protestire. Ich habe den Offer'schen Versuch nicht desswegen für werthlos erklärt, weil der Autor zu einem gegentheiligen Schluss gelangt ist wie ich, sondern aus Gründen, die im Versuch selber liegen.

Auf einen einzigen Punkt meiner Kritik des Offer'schen Versuches geht Neumann etwas ausführlicher ein, freilich auch hier, ohne meine Gründe zu widerlegen. Offer hat in seiner Vorperiode einen durchschnittlichen Stickstoffansatz von 0,46 g N beobachtet, in der Alkoholperiode bei Zugabe von 100 g Alkohol zur Nahrung einen solchen von 1,00 g N, in der Nachperiode endlich, in der der Alkohol weggelassen worden war, durchschnittlich 1,14 g N, also sogar noch mehr als in der Alkoholperiode. Ich habe dieses Verhalten der Stickstoffausscheidung als unbegreiflich bezeichnet, denn wenn unter der Wirkung des Alkohols wirklich ein Ansatz von 1 g N pro Tag erfolgt ist, so kann ich nicht verstehen, wie nach Weglassen des Alkohols der Ansatz noch grösser werden kann. Wenn Neumann das Zutreffende meiner Ueberlegungen nicht einsehen kann, so ist es mir nicht möglich, ihm dieselben noch deutlicher zu machen. Er geht auch gar nicht auf diese Ueberlegung selbst irgendwie ein. Er begnügt sich mit folgenden, meiner Meinung nach ganz überflüssigen Sätzen:

„Ist es nicht erlaubt, aus den Resultaten seiner Versuche berechtigte Schlüsse zu ziehen? Zieht nicht Rosemann aus dem Schmidt'schen Versuch auch Schlüsse als Stütze für seine Ansicht, auch wenn sie anders gedeutet richtiger gewesen wären? Für so unbegreiflich halte ich also den Offer'schen Schluss nicht."

Habe ich es Jemandem verwehrt, aus den Resultaten seiner Versuche „berechtigte Schlüsse" zu ziehen? Ich habe nur behauptet, dass die Schlüsse, die Offer gezogen hat, nicht berechtigt waren. Neumann sollte hier das Gegentheil beweisen. Statt dessen versichert er uns, dass er den Offer'schen Schluss nicht für so unberechtigt hielte. Mit dieser blossen Versicherung ist aber gar nichts bewiesen.

Neumann sagt[1]):

„Offer fasst den N-Ansatz in der Nachperiode als unmittelbare Nachwirkung des Alkohols auf, Rosemann als in-

1) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 111.

directe Folge des Alkohols, also dem Sinne nach für dasselbe."

Ich wäre sehr gespannt darauf, von Neumann die Stelle in der Offer'schen Arbeit zu erfahren, wo Offer den Stickstoffansatz in der Nachperiode als „unmittelbare Nachwirkung des Alkohols" auffasst. Der betreffende Abschnitt in der Offer'schen Arbeit lautet wörtlich[1]):

„Dass die Alkoholzulage unmittelbaren Antheil an der Eiweiss-Sparung hatte, beweist der Gang der N-Ausscheidung in der Nachperiode. Sofort nach Aussetzen des Alkohols steigt die N-Ausscheidung wieder an, und zwar zunächst um den hohen Werth von 2 g, um dann allmählich wieder abzunehmen."

Hier ist mit keinem Worte gesagt, dass das „allmähliche Wiederabnehmen der Stickstoffausscheidung" in der Nachperiode (und das ist doch der Stickstoffansatz in der Nachperiode) von Offer überhaupt auf den Alkohol bezogen wird. Im Gegentheil legt Offer gerade auf das „Ansteigen der N-Ausscheidung", also auf die Abnahme des N-Ansatzes in der Nachperiode, Werth, als Beweis dafür, dass der Alkohol in der Alkoholperiode Eiweiss gespart hat. Zur Erklärung des „allmählichen Wiederabnehmens der Stickstoffausscheidung" sagt Offer gar nichts. Und ich habe in meiner Kritik gerade hierauf Gewicht gelegt. Neumann aber sagt kurzweg: „Offer fasst diesen Stickstoffansatz als unmittelbare Nachwirkung des Alkohols auf." Er legt also wiederum einem Autor etwas in den Mund, was dieser nicht gesagt hat. Der Ausdruck „unmittelbare Nachwirkung des Alkohols", den Neumann sogar gesperrt druckt, kommt in der ganzen Offer'schen Arbeit überhaupt nicht vor. Der Vergleich zwischen dem Stickstoffansatz bei Offer und bei Schmidt ist so unglücklich wie möglich. Bei Schmidt bestand an einem Tage der Nachperiode ein geringer Stickstoffansatz; die mittlere Stickstoffbilanz aller Perioden war dagegen bei ihm annäherndes Stickstoffgleichgewicht. Bei Offer dagegen besteht im Mittel der ganzen Nachperiode ein Stickstoffansatz, der sogar höher ist als der der Alkoholperiode.

Neumann geht dann weiterhin noch auf den Satz ein: Der Alkohol wirkt fettsparend, das Fett spart Eiweiss, folglich kann der Alkohol Eiweiss sparen. Ich habe mehrfach auseinandergesetzt, dass

1) Wiener klinische Wochenschrift Bd. 12 S. 1012. 1899.

ich diese Ueberlegung für unzutreffend halte. Neumann führt gegen mich die Ausführungen von Kassowitz an und schliesst, dass „damit die Rosemann'sche Theorie in sich zusammenfiele". Ich habe die Kassowitz'schen Ausführungen in meiner letzten Arbeit über den Alkohol eingehend widerlegt, und ich verweise an dieser Stelle darauf[1]).

Am Schluss seiner Arbeit stellt Neumann drei Sätze von mir über die Frage, ob der Alkohol ein Nahrungsmittel sei oder nicht, zusammen und findet, dass dieselben in einem derartigen Widerspruch mit einander stehen, dass er seine Arbeit mit den Worten schliessen kann[2]): „Rosemann scheint demnach selbst noch nicht ganz klar darüber zu sein." Der Leser muss glauben, dass es Neumann gelungen ist, diese sich scheinbar widersprechenden Sätze aus meinen Arbeiten zusammenzufinden. Dass dieser scheinbare Widerspruch nicht von ihm zuerst hervorgehoben worden ist, sondern bereits von Kassowitz, das erwähnt Neumann mit keinem Worte, obwohl er die drei Sätze in derselben Zusammenstellung wiedergibt, wie es Kassowitz gethan hat[3]). Ebenso hält er es nicht für nothwendig, es auch nur mit einem Worte zu erwähnen, dass ich auf diesen mir von Kassowitz gemachten Vorwurf längst geantwortet habe[4]), und gleichwohl kennt er diese meine Antwort, denn er führt sie in der Zusammenstellung meiner Arbeiten unter Nr. 13 auf. Ihm müsste also bekannt sein, dass dieser Widerspruch bereits von Kassowitz hervorgehoben ist, ihm müsste bekannt sein, dass ich darauf längst geantwortet habe, — er aber stellt es so dar, als ob er diese Widersprüche gefunden und eine Widerlegung derselben von mir erst noch zu erwarten sei. Ein derartiges Verfahren richtet sich selbst. Sachlich kann ich auf meine Entgegnung gegen Kassowitz hier einfach verweisen.

Ich glaube gezeigt zu haben, dass Neumann in seiner Entgegnung meine Anschauungen nicht richtig wiedergegeben hat. **Neumann** citirt meine Aeusserungen wie die Anderer in willkürlich veränderter Form, er legt mir Aeusserungen in den Mund, die ich nicht gethan habe, oder sogar Aeusserungen, deren directes Gegentheil ich gesagt

1) Dieses Archiv Bd. 79 S. 473; Bd. 86 S. 465.

2) Archiv f. Hygiene Bd. 41 S. 117.

3) Deutsche medicinische Wochenschrift 1900 Nr. 32—34.

4) Deutsche medicinische Wochenschrift 1901 Nr. 3.

habe. Er stellt Sätze von mir, die sich auf ganz verschiedene Dinge beziehen, so zusammen, als ob sie von demselben Gegenstande handelten, — kurz, er bemüht sich nicht im Mindesten, meine Anschauungen unverändert so wiederzugeben, wie ich sie zum Ausdruck gebracht habe.

Das Urtheil, das ein derartiges Verfahren verdient, spreche ich nicht aus, ich kann es getrost dem Leser überlassen.

(Aus dem physiologischen Laboratorium in Bonn.)

Ueber Kalkseifen als Beweise gegen die in wässriger Lösung sich vollziehende Resorption der Fette.

Von

E. Pflüger.

Inhalt.

		Seite
§ 1.	Dr. Otto Löwi untersucht, welche Schlussfolgerungen aus den bisher über die Fettresorption bekannt gewordenen Thatsachen gezogen werden dürfen	211
§ 2.	Ueber Löwi's Resorptionsversuche mit Kalkseifen	217
§ 3.	Eigene Versuche über die Löslichkeit der Kalkseifen in Galle und Wasser	219
§ 4.	Ueber Löwi's Anthracenversuche	224
§ 5.	Die Theorie der Fettresorption nach Otto Löwi	225

§ 1. Dr. Otto Löwi untersucht, welche Schlussfolgerungen aus den bisher über die Fettresorption bekannt gewordenen Thatsachen gezogen werden dürfen.

Dr. Otto Löwi[1]) hat in der Sitzung der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg im Juni 1901 über das Wesen der Fettresorption Ansichten zu begründen gesucht, welche eine Widerlegung nothwendig erscheinen lassen.

Nach Otto Löwi sind die beiden bisher zur Erklärung der Fettresorption gemachten Annahmen mit allen beobachteten Thatsachen nicht in Einklang zu bringen, d. h. weder die „Aufnahme der Fette in wasserlöslicher Form als Seifen", noch die „Aufnahme in Form einer feinen Emulsion".

1. Die durch den Pankreasspeichel bewirkte Spaltung der Fette und nachfolgende Verseifung kann nach Löwi nicht die Bedeutung

---

1) Sitzungsberichte der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften Nr. 7 in Marburg a. d. L.

haben, dass die gebildete wasserlösliche Seife resorbirt wird, weil diese vorher schon durch die Kohlensäure des Darminhaltes wieder zerlegt worden ist, so dass also die freie Fettsäure als solche resorbirt werden muss.

Welches ist nun nach Löwi die Bedeutung der Fettspaltung? „Es ist," so sagt Otto Löwi, „die Annahme nicht von der Hand „zu weisen, dass gespaltenes Fett leichter chemisch angreifbar ist „als Neutralfett. Als Stütze dieser Annahme mag hier die Be„obachtung ihre Stelle finden, dass Ricinolsäure durch chemische „Eingriffe wesentlich leichter veränderlich ist als das ungespaltene „Ricinusöl (Hans Meyer 1896). In diesem Fall hätten wir in der „Verseifung eine die Verwerthung der Fette für die Zwecke des „Organismus vorbereitende Operation zu erblicken."

Löwi hat offenbar nicht beachtet, dass das neutrale Fett, nachdem es in der Darmhöhle gespalten wurde, alsbald in der resorbirenden Epithelzelle oder der Darmwand wieder in Neutralfett zurückverwandelt wird. Weil ein Thier durch Fütterung mit Seifen gemästet werden kann, und weil das Chylusfett nach Fütterung mit Fettsäuren oder Seifen wesentlich aus Neutralfett besteht, kann die nach der Resorption der Fettsäuren in der Darmwand sich vollziehende Synthese von Neutralfett nicht bezweifelt werden. Die mit der Nahrung zugeführte Fettsäure wird in dem Chylus als **Neutralfett** dem Organismus zur Verwendung überliefert. Man kann also nicht behaupten, dass das Neutralfett im Darme gespalten werde, weil nicht Neutralfett, sondern Fettsäuren den Organen zur Verfügung gestellt werden sollen. Da die Spaltung des Neutralfettes vor der Resorption geschieht und nach der Resorption aus den Spaltungsproducten Neutralfett sofort wieder gebildet wird, so kann man nicht daran zweifeln, dass die Resorption zur Spaltung in einer wesentlichen Beziehung steht. Die Spaltung des Fettes geschieht, um die Resorption zu ermöglichen. Ist die Resorption vollzogen, so wird die Spaltung rückgängig gemacht.

2. Otto Löwi beruft sich ferner auf die Spaltung der Seifen durch die Kohlensäure des Darminhaltes, wesshalb „es möglich sei, „dass nicht die Seifen als solche, sondern die aus den Seifen frei„gemachten Fettsäuren resorbirt werden". Nun behauptet Löwi gleichzeitig, „es stehe fest, dass ein Theil der Fette verseift wird". Diese von Löwi angezogenen Thatsachen sind gewiss richtig. Es wird also fortwährend Seife gebildet und fortwährend zerlegt. Das

gilt schon, wie ich bewiesen habe, für jede wässrige Lösung der Seifen in Folge von Hydrolyse. Folglich ist im Darminhalt auch nach der Voraussetzung von Löwi immer gelöste Seife vorhanden. Diese wird wie jede gelöste Substanz nach den Gesetzen der Diffusion in die resorbirenden Epithelzellen eindringen müssen.

Bei der Betrachtung der Wirkung der Kohlensäure auf die Seifen muss man beachten, dass diese, wie ich in meiner letzten Abhandlung[1]) nachwies, bei niederer Temperatur stärker, bei höherer schwächer als die Fettsäuren sich erweist. Bei der Temperatur des Säugethierkörpers sind Kohlensäure und Fettsäure ungefähr gleich stark. In ein und derselben Lösung haben aber die verschiedenen Moleküle nicht dieselbe Temperatur. Wo ein Molekül Fettsäure mit einem solchen von Natriumcarbonat zusammenstösst, in einem Augenblick, wo beide die Maximaltemperatur des Gemisches haben, treibt die Fettsäure die Kohlensäure aus, und umgekehrt wird die Fettsäure von der Kohlensäure ausgetrieben. Man sieht dies ja sehr deutlich an meinen Versuchen, in denen ich die Lösung der Oelsäure in Lösungen von Natriumcarbonat bei Zimmer- oder Bluttemperatur zeigte. Hierbei löst sich bei Weitem nicht so viel Oelsäure als vermöge des vorhandenen Ueberschusses an Alkali bei vollständiger Verseifung gelöst werden könnte. Bei gegebener Temperatur bilden sich, sobald einmal ein Gleichgewichtszustand eingetreten ist, in der Zeiteinheit ebensoviele Seifenmoleküle als auch wieder durch Hydrolyse oder Kohlensäure zerlegt werden. Dass ein in Sodalösung fallender Tropfen von Oelsäure anfangs getrübt wird, liegt wohl daran, dass an dieser Stelle, wo die Oelsäure im Ueberschusse sich befindet, saure Seifen entstehen, die später durch Vertheilung in der überschüssigen Masse des Alkalis verschwinden.

Wie bei diesem Versuche die schwache Oelsäure die Kohlensäure aus der Soda austreibt, gerade so verhielt es sich in den vielen Versuchen, bei denen ich in alkalischen Gallenmischungen, die Fettsäuren und Natriumcarbonat enthielten, eine mächtige Seifenbildung nachwies, obwohl sich aus dem Natriumcarbonat hierbei doch Kohlensäure entwickeln musste. Es ist also gewiss, dass die Gegenwart gewisser Kohlensäure-Mengen die Verseifung nicht unmöglich macht.

---

1) Dieses Archiv Bd. 88 S. 450.

3. Als ferneren Grund gegen die Resorption der Fette in wasserlöslicher Form hebt Otto Löwi noch hervor:

„Auch die Thatsache, dass die Seifen zu den schwer diffundir„baren Salzen gehören, die bekanntlich sehr schlecht resorbirt werden, „ist der Annahme der Resorption in dieser Form ungünstig.“

Sofort hinfällig wird dieser Grund, wenn man sich daran erinnert, dass unter Wilhelm Kühne's Leitung bereits Radziejewski[1]) einen mageren Hund gemästet hat, dem er neben wenig magerem Fleisch kein Fett, wohl aber Seifen fütterte. Wenn also auch, was ich zugebe, Seifen schwer diffundiren, so diffundiren sie doch genügend, um sogar Fettmästung bei Seifenfütterung zu ermöglichen.

Man muss überhaupt nicht vergessen, dass bei der Diffusion gelöster Stoffe aus der Darmhöhle eine Zellenmembran von ausserordentlicher Dünne zu durchdringen ist. Wir gründen unser Urtheil über die Leichtigkeit, mit der ein gelöster Stoff durch eine Membran dringt, gewöhnlich auf Versuche, bei denen verhältnissmässig hundert und tausend Mal dickere Häute zur Diffusion verwandt werden, als sie bei der Zellenendosmose vorliegen.

Der Gedanke von Otto Löwi hat aber einen bedeutsamen philosophischen Hintergrund. Wenn die Natur zur Ueberführung der Fette eine wasserlösliche Substanz hätte wählen wollen, so würde sie, das denkt Löwi, einen leichter als die Seifen diffundirenden Stoff verwandt haben. Solche Betrachtung ist aber ganz unberechtigt.

Hat nicht das beste Auge die Fehler der chromatischen, der monochromatischen, der astigmatischen Aberration? Gewiss! Aber diese Fehler stören der Regel nach nicht beim Gebrauche des Sehorganes. Einrichtungen, die an sich mangelhaft sind, aber für die Leistung des Individuums keinen Nachtheil bringen, werden im Kampf um das Dasein nicht beseitigt.

Es fragt sich also, ob die Langsamkeit der Diffusion der Seifen in wässriger Lösung für die Zwecke der Resorption genügt. Der Versuch von Radziejewski beweist dies. Die Dünne der Zellmembran, durch welche im Darm die Seifenlösung diffundirt, die Beschaffenheit ihrer Poren, die Grösse der Oberfläche, die höhere

---

1) Virchow's Archiv Bd. 43 S. 275 (1868) und Virchow's Archiv Bd. 56 S. 214. 1872.

Temperatur und vielleicht noch Saugwirkungen genügen zur Erzielung der nothwendigen Resorptionsgrösse.

Der Verkehr der Gase bei der Athmung beruht auf Diffusion, und auch hier fällt die Langsamkeit des Vorganges auf. Wenn ein Tropfen dunklen venösen Blutes bei einer Operation auf den Tisch fällt und gerinnt, so verliert er ziemlich schnell die schwärzliche Farbe und erscheint durch Absorption von Sauerstoff hellroth. Wenn man nach einer Stunde mit einem Messer den festgewordenen Tropfen zerschneidet, wird man das Innere noch dunkel finden, weil der Sauerstoff noch nicht in die Tiefe gedrungen ist. Aehnlich habe ich oft genug gesehen, dass defibrinirtes, dunkles, venöses Blut, welches in einem Becherglas an der Luft steht, sich nur an der Oberfläche röthet und wenige Millimeter darunter viele Stunden dunkel bleibt. Trotzdem sind es nur die Kräfte der Diffusion, welche in den Lungen den Uebertritt des atmosphärischen Sauerstoffs in die Blutkörperchen ermöglichen. Dass trotz der Langsamkeit der Diffusion der Gase so grosse Mengen absorbirt werden, liegt an der ungeheuren Grösse der Oberfläche, welche den Sauerstoff aufnimmt, begünstigt durch die Saugwirkungen, welche die rothen Blutkörperchen ausüben.

4. Otto Löwi beruft sich gegen die Resorption der Seifen noch auf die Versuche Röhmann's, wonach bei Gallenabschluss Seifen sehr schlecht ausgenutzt werden. Daraus soll hervorgehen, dass die Resorption der Seifen „jedenfalls nicht ohne Weiteres statt„hat, sondern an die Erfüllung gewisser Bedingungen geknüpft ist". Dieses Alles ist sehr einfach und klar. Durch die Untersuchungen von B. Moore und W. Parker[1]) ist bewiesen, dass Seifen sich in Galle viel leichter als in Wasser lösen, und dass die Gegenwart des Lecithines die Löslichkeit der Seifen in Gallenmischungen noch weiter erhöht. Ich selbst habe ja ferner bewiesen, wie sehr die Galle die Verseifung der Fette fördert.

Weil also bei Gegenwart von Galle mehr Seifen im Darme erzeugt und in Lösung geführt werden als ohne Galle, so ist es selbstverständlich, dass die Galle die Resorption der Seifen sehr erheblich fördern muss.

5. Otto Löwi findet noch einen weiteren Grund für seine Ansicht, dass die Verseifung „ganz anderen Zwecken als denen der „Resorbirbarmachung der Fette dient". Nach seiner Behauptung

1) Proceedings Royal Soc. London vol. 68 p. 64.

findet „auch nach Unterbindung der Pankreasgänge, also nach Aus„fall des fettspaltenden Fermentes, die Resorption des Neutralfettes „in vollem Umfang“ statt. Löwi würde diesen Satz nicht geschrieben haben, wenn ihm die in Betracht kommende Literatur bekannt gewesen wäre. Ich habe über diesen Gegenstand schon im 82. Bande des Archives, also lange vor Löwi, in eingehender Besprechung sämmtliche einschlägige Untersuchungen behandelt. Minkowski und Abelmann[1]) haben die ausserordentlich merkwürdige Thatsache festgestellt, und zwar schon vor 12 Jahren — dass im Darm von Hunden, die kein Pankreas mehr besitzen, eine höchst bedeutende Spaltung des Fettes sich vollzieht. — Die Ergebnisse Abelmann's sind von Vaughan Harley[2]) durchaus bestätigt worden. Die vergleichenden Versuche von Harley zeigen also, dass die Spaltung der Fette in den Verdauungswerkzeugen sich bei pankreaslosen Hunden mit annähernd derselben Stärke vollzieht wie bei normalen Hunden.

Die Angaben von V. Harley fanden eine weitere Bestätigung durch die Untersuchungen von Hédon und Ville[3]) (1897). — Die französischen Forscher zeigten, dass bei Abschluss von Galle und Pankreassaft vom Darme die mit den Faeces ausgeschiedenen Fette zu 78 bis 90% durch Fettsäuren vertreten waren. An diese Untersuchungen reihen sich die Arbeiten von Franz Volhard[4]) über die Fettspaltung im Magen.

Aus allen diesen Untersuchungen folgt, wesshalb das Weiterbestehen der Verseifung der Fette nach Ausrottung des Pankreas selbstverständlich ist.

Dass nach Ausrottung des Pankreas und Abschliessung der Galle vom Darme immer noch eine geringe Fettresorption und Verseifung stattfinden kann, folgt aus der Gegenwart von Natriumcarbonat, welches die Darmdrüsen liefern, und aus der Fortdauer der Fettspaltung, die durch das Steapsin des Magensaftes bedingt sein könnte.

1) Abelmann, Ueber die Ausnutzung der Nahrungsstoffe nach Pankreasexstirpation u. s. w. Inaug.-Dissert. 1890.

2) Proc. Roy. Soc. London vol. 61 p. 249.

3) Archives de Physiologie [5] vol. 9 p. 618.

4) Franz Volhard, Ueber Resorption und Fettspaltung im Magen. Münch. med. Wochenschr. Nr. 5 u. 6. 1900. — Derselbe, Ueber das fettspaltende Ferment des Menschen. Zeitschr. f. klin. Medicin Bd. 43 H. 5 u. 6.

6. In der Beweisführung Löwi's gegen die in wasserlöslicher Form sich vollziehende Resorption der Fette findet sich noch die auffallende Bemerkung, dass die Fettsäuren, falls sie nicht als Seifen in wässrige Lösung gebracht werden, von der Resorption ausgeschlossen sind, wenn man den Epithelien nicht gewisse Aufnahmekräfte beilegt. Hieraus folgt, dass Löwi auch die Arbeiten von Marcet[1]) sowie die von Moore und Rockwood[2]) unbekannt geblieben sind. Diese Forscher bewiesen, dass die Galle eine erheblich lösende Kraft auf Fettsäuren ausübt. Letztere können also recht wohl resorbirt werden, ohne dass man nothwendig Verseifung voraussetzen muss.

§ 2. Ueber Löwi's Resorptionsversuche mit Kalkseifen.

Otto Löwi brachte Kalkseifen in abgebundene Darmschlingen und behauptet, die Resorption derselben beobachtet zu haben. Weil diese Kalkseifen nach Löwi in der Darmflüssigkeit vollkommen unlöslich sind, kann eine in wasserlöslicher Form erfolgte Resorption in diesem Falle nicht behauptet werden. Löwi hat bei der Beschreibung seiner Versuche nicht angegeben, an welchem Thiere sie angestellt wurden, welcher Theil des Darmes zur Aufnahme der Kalkseifen gewählt worden ist, ob die ganze Masse oder nur ein Theil der Kalkseifen resorbirt wurde, wie er die Resorption nachwies und auf welchem Wege die angewandten Kalkseifen dargestellt worden sind, so dass sicher alle löslichen Seifen ausgeschlossen waren. Es fehlt auch eine Angabe über die Methode, die er brauchte, um die Löslichkeit der Kalkseifen in Galle festzustellen. Niemand ist berechtigt, dem Leser diejenigen Thatsachen zu verschweigen, deren Kenntniss zur Beurtheilung des Werthes einer Untersuchung nicht entbehrt werden kann.

Zuerst wäre die Frage zu behandeln, ob die Gesammtmasse der injicirten Kalkseifen oder nur ein Theil derselben resorbirt worden ist. Wenn man erwägt, dass in dem Koth unter den für die Resorption günstigsten Bedingungen, d. h. unter normalen Verhältnissen, also trotz Mitwirkung der Galle, Kalk- und Magnesiaseifen enthalten sind, kann man mit Sicherheit annehmen, dass bei dem Versuch von Löwi die ganze Menge der in die Darm-

1) Proc. Roy. Soc. London vol. 9 p. 306. 1858.
2) Journal of Physiology vol. 21 p. 58.

schlinge injicirten Kalkseife nicht resorbirt worden ist, im besten Fall also nur ein Theil wieder gefunden werden konnte. Ohne jeden Zweifel kann aber diese ganze Menge auch dann nicht wieder gefunden werden, wenn nicht die Spur von Kalkseife resorbirt worden ist. Die Kalkseifen bilden unendlich feine Pulver, die in Wasser aufgeschwemmt, durch fast alle Filter gehen. Dieser unendlich feine Staub wird z. B. beim Hunde nach der Injection in den durch die Zottenfäden des Dünndarms gebildeten dichten Rasen eindringen und durch späteres Ausspülen, ja Auspinseln nicht vollständig wiedergewonnen werden können. Es wäre also als Controle dieser Versuche nöthig gewesen, die Injection der Kalkseifen in eine todte Darmschlinge zu machen, diese länger zu kneten und dann zu versuchen, wie viel man von der injicirten Kalkseife durch Ausspülen wieder gewinnen kann. Löwi gibt nicht an, ob er solche Controlversuche gemacht hat. — Die Anwendung chemischer, zugleich die Darmwand beeinflussender Mittel zur Wiedergewinnung der Kalkseife hat auch ihre bedenkliche Seite.

Gesetzt nun, es wäre von Löwi eine Resorption der Kalkseifen nachgewiesen, so ist zu beachten, dass er selbst die **Löslichkeit der Kalkseifen in Galle** zugibt. Die hier auftretenden Bedenken fertigt Löwi durch folgende Betrachtung ab:

„Als Beispiel hierfür möchte ich anführen, dass, wie wir fanden, „in isolirten, sorgfältig gereinigten und beiderseits abgebundenen „Darmschlingen Fettsäuren aus eingebrachten, wasserunlöslichen Kalk„seifen resorbirt werden. Hier ist die Annahme einer Aufnahme in „Seifenform unmöglich, da kein (???) **Lösungsmittel** für „Kalkseifen, wie es z. B. **die Galle** ist, vorhanden war. Es musste „also an einen anderen Resorptionsmodus gedacht werden.“

Diese ganze Beweisführung steht und fällt mit der Behauptung, dass durch die Ausspülung der benutzten Darmschlinge alle die Oberfläche benetzende Galle entfernt worden sei. Bedenkt man nun, dass beim Hunde die innere Oberfläche des Dünndarms einem dichtesten Rasen gleicht, der von Galle und Schleim durchtränkt ist; dass ferner zahllose feine Röhrchen als Ausführungsgänge der Lieberkühn'schen Drüsen Gallenbestandtheile auch enthalten können, so ist es klar, dass die von Löwi vorgenommene Ausspülung die sichere Entfernung der Galle nicht verbürgt.

Diese Mängel der Methode würden bereits genügen, um den Versuchen Löwi's die Beweiskraft zu nehmen.

§ 3. Eigene Versuche über die Löslichkeit der Kalkseifen in Galle und Wasser.

Es schien mir nothwendig, zuerst die Hauptvoraussetzung Löwi's, d. h. die Unlöslichkeit der Kalkseifen, einer genaueren Prüfung zu unterziehen.

Versuch I.

Obwohl Löwi zugibt, dass die Kalkseifen in Galle löslich seien, sagt er doch nicht, wie er sich von dieser Thatsache überzeugt hat, die nicht ganz leicht zu entscheiden ist. Ich beschloss desshalb, selber einige Versuche anzustellen.

5 g Stearinsäure,
5 g Oelsäure,

gelöst in 50 ccm erwärmten absoluten Alkohols. Hinzugefügt 74 ccm alkoholische Natronlauge; 67,7 ccm würden die äquivalente Menge Alkali enthalten. Dann noch 50 ccm Alcoh. absol. hinzugefügt, im Wasserbad abgedampft, in 200 ccm heissen Wassers gelöst, in eine kohlensäurefreie Lösung von überschüssigem Calciumchlorid eingetragen, filtrirt, mit kohlensäurefreiem Wasser gewaschen, zwischen Fliesspapier gepresst. Die klingend harten Kalkseifen im Mörser gepulvert, bei mässiger Wärme getrocknet. Es wurden erhalten:

10,362 g schneeweisse Kalkseife,

welche also zu gleichen Theilen aus Calciumstearat und Calciumoleat bestand. Ein Theil der Seife wurde in einem grösseren Volum Galle digerirt und dann filtrirt, wobei die Flüssigkeit sehr trübe durch die besten Filter ging. Auch 589 Blauband von Schleicher und Schüll war der Aufgabe nicht gewachsen. Der Versuch war verloren. Ich wandte mich desshalb an die Filterfabrik von Drevenhoff in Dresden und erlangte ein cartondickes Filter, welches der Aufgabe gewachsen war.

1,850 g Kalkseife wurden mit 690 ccm frischer alkalischer Ochsengalle 36 Stunden bei 37 ° C. digerirt, eben so lange 100 ccm derselben Galle als Controlprobe.

Durch das erstaunlich dicke Filter lief die trübe Gallenmischung ziemlich schnell und ganz klar ab.

100 ccm Filtrat nach Ansäuern mit Salzsäure lieferten:

0,5110 g Aetherextract,

100 ccm der Controlgalle:

0,282 g Aetherextract.

Also waren 0,229 Fettsäuren aus den Kalkseifen in Lösung gegangen. Da 690 ccm Galle angewandt waren, sind im Ganzen 1,580 g Fettsäure gelöst worden. In welcher Form das geschehen ist, geht aus dem Versuche nicht hervor. Macht man die wahrscheinlich richtige Annahme, dass sich die Calciumsalze gelöst haben, so würden sich 1,692 g der Kalksalze gelöst haben oder

91,47 %.

100 ccm Galle würden also gelöst haben:

0,245 g Kalkseife.

Benjamin Moore und William H. Parker[1]) geben an, dass 100 ccm Wasser, die 5 % Cholate enthalten, lösen 0,2 Calciumoleat und 1,4 Calciumoleat bei Gegenwart von Lecithin; weniger als 0,1 Calciumstearat und 0,4 Calciumstearat bei Gegenwart von Lecithin.

Da nun die Galle ein wenig Lecithin enthält, so sind die Bestimmungen der englischen Forscher mit meinem Versuche in befriedigender Uebereinstimmung und zeigen, dass in den Cholaten und Lecithin das Lösungsmittel für die Kalkseifen wesentlich gesucht werden muss.

Versuch II.

Es war wünschenswerth zu prüfen, ob die mit der Galle im Darme sich mischende Lösung von Natriumcarbonat die Lösung der Kalkseifen befördern würde.

5 g Oelsäure,

5 g Stearinsäure.

In heissem absolutem Alkohol (100 ccm) gelöst, alkoholische Natronlauge in etwas grösserer als aequivalenter Menge hinzugefügt. Nach Verjagung des Alkohols im siedenden Wasserbad Lösung der Natronseife in heissem Wasser. Die vollkommen klare Seifenlösung eingegossen in ½ Liter kohlensäurefreien Wassers, welches Chlorcalcium in geringem Ueberschuss enthält. Von der Fällung filtrirt. Filtrat gibt mit Chlorcalciumlösung keine Trübung. Die Kalkseife wird vom Filter genommen und mit kohlensäurefreiem destillirtem Wasser zerrührt und abermals abfiltrirt, dann unter der Presse in steinharte Blätter verwandelt und diese pulverisirt. Pulver noch-

---

1) Proceedings Roy. Soc. London vol. 68 p. 64—76.

mals mit Wasser gewaschen, filtrirt, abermals gepresst. — Eine Probe der gepulverten Seife wird mit Wasser ausgezogen. Filtrat gibt mit Salzsäure eine Spur von Trübung, nachdem die Flüssigkeit einige Zeit gestanden hatte. Ein Theil der erhaltenen Seife wurde zur Trockenbestimmung abgewogen und der eigentliche Versuch folgendermaassen in das Werk gesetzt.

8,568 g Kalkseife,
560,00 ccm frische filtrirte Ochsengalle,
145,00 „ 1 % Sodalösung.
Sa. 713,568 ccm Mischung.

Digestion von 24 Stunden bei 37° C. 100 ccm Filtrat liefern nach Ansäuern mit Salzsäure und bis zur Erschöpfung durchgeführten 9 Ausschüttelungen

0,541 g Aetherextract.

Das macht auf das Gesammtvolum von 713,568 ccm berechnet:
3,861 g Fettsäuren,
ab 0,634 „ präformirter Aetherextract der angesäuerten Galle.
Sa. 3,227.

Angewandt 8,568 g feuchte = 7,934 g trockene Kalkseife = 7,410 g darin enthaltene Fettsäuren. Also wieder gefunden:

43,55 %.

In 713,6 ccm Gallenmischung haben sich gelöst 3,455 g Seifen.

100 ccm dieser Gallenmischung hatten also 0,48 g Kalkseifen gelöst, immer vorausgesetzt, dass keine Umsetzung der Kalkseifen in Natronseifen stattgefunden hat. Berechnet man die Lösungskraft auf die Galle allein — indem man von der Sodalösung absieht — so findet man:

100 g Galle lösten 0,617 g Seifen.

Ich habe von den mit Aether ausgeschüttelten Fettsäuren noch den Schmelzpunkt bestimmt. Er war 38° C.

Also ist die Zusammensetzung:

10,64 % Stearinsäure
89,36 % Oelsäure.

Das ist in guter Uebereinstimmung mit den Bestimmungen von Benjamin Moore und William H. Parker, nach denen das Calciumoleat an Löslichkeit das Calciumstearat bei Weitem übertrifft.

Immerhin ist auch vom Oleat absolut genommen nur wenig gelöst worden; das Natriumoleat löst sich in Galle in sehr viel reich-

licherer Menge, wesshalb es wahrscheinlich bleibt, dass die angewandten Kalkseifen wesentlich als solche gelöst worden sind.

Versuch III.

Wir wollen nunmehr noch die Untersuchung auf die Löslichkeit der Kalkseifen in Wasser oder verdünnter Sodalösung lenken.

Es schien mir zweckmässig, zuerst die Kalkseife, 1,4 g (gleiche Theile Calciumoleat und Calciumstearat), mit einer äquivalenten 1 %igen Lösung von Natriumcarbonat zu digeriren und dann mit Aether auszuschütteln. Thatsächlich erhielt ich einen schön krystallisirenden Extract mit dem Schmelzpunkt 31° C.

Die Zusammensetzung des Fettsäuren-Gemisches war also:

5,45 % Stearinsäure
94,55 % Oelsäure.

Aus den Kalkseifen ist also in Folge hydrolytischer Spaltung ein recht erheblicher Theil der Fettsäuren, besonders der Oelsäure, in Freiheit gesetzt worden.

Versuch IV.

Es wurde mir nun wahrscheinlich, dass die Kalkseifen auch bei Berührung mit kohlensäurefreiem Wasser eine hydrolytische Spaltung erleiden würden. Um den Versuch recht beweisend zu machen, schüttelte ich den Aether erst mit starker Kalilauge durch, wusch mit kohlensäurefreiem Wasser das Alkali fort, goss den Aether in eine grosse mit Kalistangen gefüllte Flasche und destillirte ihn ab nach einer Vorlage, aus der ich ihn für die Ausschüttelungen entnahm.

1,277 g Kalkseife (dieselbe, welche früher gebraucht worden war) mit ca. 60 ccm kohlensäurefreiem Wasser im Scheidetrichter ausgeschüttelt. Der Scheidetrichter war vor Gebrauch mit Sodalösung gespült und diese dann mit kohlensäurefreiem Wasser weggewaschen.

10 Ausschüttelungen bis zur Erschöpfung liefern:

0,2495 g Fettsäuren (krystallisirt).

Sie haben den Schmelzpunkt 30° C.

Die Zusammensetzung ist demnach:

4,95 % Stearinsäure
95,05 % Oelsäure.

Es ist also gewiss, dass die Kalkseifen in Berührung mit Wasser eine hydrolytische Spaltung erfahren, gerade so wie die Seifen der Alkalien. Es ist aber sehr unwahrscheinlich, dass ein Salz, das absolut unlöslich in Wasser ist, trotzdem hydrolysirt werden kann.

Gibt man diese fast zweifellos richtige Voraussetzung aber auch nicht zu, so ist doch gewiss, dass das Wasser fortwährend aus den Kalksalzen Fettsäuren frei macht, die mit gelösten Molekülen des im Darmsaft enthaltenen Natriumcarbonates reagiren müssen, um lösliche Seifenmoleküle zu erzeugen.

Das wird erstens durch die Versuche[1]) bewiesen, in denen ich Verseifung ungelöster Fettsäuren, die in verdünnter Sodalösung aufgeschwemmt waren, bei 37° C. hervorbrachte. Die Verhältnisse sind aber für die in Dissociation aus Seifen frei gewordenen Fettsäuren günstiger, weil sich hier die Fettsäuren in wässriger Lösung befinden, was allerdings auf den ersten Blick sonderbar scheint. Wenn ich aber meine recht concentrirten wässrigen Lösungen neutraler Seifen erhitzte, so verschwand jede Spur von Trübung, obwohl doch unzweifelhaft unendlich viele freie Fettsäuremoleküle in der Flüssigkeit waren, die ihr Gelöstsein nicht mehr dem Alkali verdanken konnten, mit dem sie ja ihre Beziehungen abgebrochen hatten.

Die Lösung einer Substanz in Wasser ist dadurch gekennzeichnet, dass sie in ihre Moleküle zerstäubt ist, so dass jedes Molekül von einer Wasseratmosphäre umgeben wird. Der Zustand des Gelöstseins hört auf, wenn die Möglichkeit zur Bildung von Molekülgruppen geboten wird. Wenn also die Kalkseifen fortwährend in Wasser gelöste Fettsäuren liefern, so treffen diese nicht bloss auf gelöste Moleküle von Calciumhydroxyd, wodurch eine abermalige Ausfällung eintritt, sondern auch auf gelöste Moleküle von Natriumcarbonat, wodurch lösliche Seifen der Resorption zur Verfügung gestellt werden.

Es wäre nun gewiss wünschenswerth, etwas genauer zu erfahren, ob überhaupt eine Resorption von Kalkseifen in einer abgebundenen Darmschlinge mit Sicherheit nachweisbar ist. Ich habe diese Frage im Institute zur Bearbeitung übergeben.

Löwi's Behauptung, dass die Kalkseifen im Darme resorbirt werden, kann vor der Hand nicht als sicher bewiesen gelten, ebensowenig die Annahme von der absoluten Unlöslichkeit jener Seifen.

---

1) Dieses Archiv Bd. 86 S. 24.

§ 4. Ueber Löwi's Anthracenversuche.

Löwi beschreibt seinen Anthracenversuch in folgenden Worten: „Wir untersuchten desshalb die Aufnahmefähigkeit des Darmes für „einen anderen Körper, der zwar mit dem Fett die Eigenschaft theilt, „in Wasser absolut unlöslich zu sein, bei dem aber andererseits „Ueberführung in wasserlöslicher Form und Aufnahme in ungelöstem, „der Emulsion vergleichbaren, Zustand z. B. wegen krystallinischer „Beschaffenheit ausgeschlossen war."

„Diese Eigenschaften besitzt das Anthracen. Wir verfütterten „es an einen hungernden Hund und konnten durch den Nachweis „eines fluorescirenden Derivates im Harn beweisen, dass es im Darm „resorbirt wird. Nach subcutaner Injection von aufgeschwemmtem „Anthracen fand sich im Harn derselbe fluorescirende Körper. Da „das Anthracen in Wasser und, wie uns besondere Versuche lehrten, „auch in Galle absolut unlöslich ist, muss er wohl durch die Darm„zellen selbst gelöst und in dieser Form resorbirt worden sein."

Weil also nach Fütterung von **Anthracen** im Harn ein Körper erscheint, der **kein Anthracen** ist, desshalb ist das **Anthracen** von der Darmwand resorbirt worden. Es wäre doch möglich, dass der im Harn nach **Anthracenfütterung** ausgeschiedene unbekannte Stoff sich bereits in den Verdauungswerkzeugen gebildet hätte und dann von der Darmwand resorbirt worden wäre, weil er in Wasser löslich ist. Dieses Bedenken wird nicht dadurch widerlegt, dass der fremde Körper im Harne auch auftritt, wenn das Anthracen nicht in die Verdauungswerkzeuge, sondern unter die Haut des Thieres gebracht wird. O. Löwi nennt den im Harn nach Fütterung von Anthracen auftretenden Stoff „ein Derivat" des Anthracens, obwohl er diesen Stoff gar nicht untersucht hat. Im thierischen Körper können auch fluorescirende Stoffe entstehen, wie ich dies zuerst für die Cholalsäure gezeigt habe.

Mit keiner Silbe äussert sich O. Löwi, wie er sich von der Reinheit seines Anthracens versichert hat.

Wenn ich desshalb eine wahrscheinlich die Wahrheit treffende Vermuthung aussprechen darf, so ist es die, dass, weil man im Handel kein chemisch reines Anthracen erhält, sondern solches, welches reich an den verschiedensten Beimengungen ist, in dem von O. Löwi angewandten Präparat eine in den thierischen Säften lösliche Verun-

reinigung enthalten war, welche entweder selbst oder in einem Derivat die Fluorescenz des Harnes veranlasste.

Immerhin müsste noch in Betracht gezogen werden, dass das verfütterte Anthracen einen Krystallbrei bildet und dass Krystalle Kanten, Schneiden und Spitzen haben, so dass sie die feinen Membranen der resorbirenden Cylinderzellen aufschlitzen und dann in das nackte Protoplasma gerathen könnten.

§ 5. Die Theorie der Fettresorption nach Otto Löwi.

Weil nach Löwi offenbar ungelöste Substanz in die resorbirenden Epithelzellen gelangt und die Resorption von Emulsionen ausgeschlossen werden muss, da Emulsion in der resorbirenden Basalmembran fehlt, gelangt Löwi zu einer Schlussfolgerung, die ich mit seinen eigenen Worten wiederzugeben für zweckmässig halte:

„Fragen wir nun nach dem Lösungsmittel der Fette in der „Darmzelle, so haben wir in erster Linie an die Lecithine und „Cholestearine zu denken, die ja in allen thierischen Geweben „vorkommen und diesen die Eigenschaft verleihen, zugleich eine „wässrige und eine fettartige Lösung zu sein“ u. s. w.

Wenn man diesen Erwägungen eine Form gibt, die mir denkbar ist, so müsste die abschliessende Membran der Cylinderzelle, durch welche das Fett bei der Resorption vordringen muss, als eine poröse Masse betrachtet werden, die einen lecithin- und cholestearinhaltigen Saft führt, welcher das Fett dem Innern der Zelle zuleitet. Bei dieser Betrachtung ist nur das Eine sonderbar, dass bis dahin Lecithin und Cholestearin in den Cylinderzellen des Darmes nicht bewiesen wurden, während sie als Bestandtheil der Galle, also auch der Darmflüssigkeit, feststehen. Nun soll die Darmflüssigkeit keine Fette lösen, obwohl sie Lecithin und Cholestearin enthält; wohl sollen aber die resorbirenden Cylinderzellen diese Fähigkeit haben, obwohl Niemand noch deren Lecithin- und Cholestearingehalt nachgewiesen hat. Seitdem Strecker, Marcet, Moore, Rockwood, Parker und ich die lösenden Kräfte der Darmflüssigkeiten für Fette festgestellt, nachdem ich die zur Erklärung der in wässriger Lösung sich vollziehenden gesammten Fettresorption nothwendigen Voraussetzungen in Gestalt bestimmter quantitativer

Thatsachen ermittelt habe, bleibt kein Raum mehr für Hypothesen, wie sie von Otto Löwi aufgestellt worden sind oder in der Emulsionsresorption noch Vertreter finden.

Alle Verdauung ist Hydrolyse, alle Resorption ist Hydrodiffusion.

Das ist mein Satz! Der ist wahr und wird es bleiben, so lange die Welt steht.

(Aus der kgl. ung. thierphysiol. Versuchsstation in Budapest.)

Zur Kenntniss des P-, Ca- und Mg-Umsatzes bei Pflanzenfressern.

Von

Prof. Dr. med. **F. Tangl.**

Gelegentlich der Fütterungsversuche, die mit Rieselwiesenheu an Pferden ausgeführt wurden, ergab die Aschenanalyse, dass das Heu ausserordentlich arm an Kalk war. Dies veranlasste mich, in zwei Versuchsreihen den Ca-Umsatz und zugleich den P- und Mg-Umsatz bei zwei Pferden (Nr. III und IV, gesunde kräftige 10- resp. 14jährige Wallachen) zu bestimmen, um so mehr, als meines Wissens bisher nur sehr wenige Untersuchungen über den anorganischen Stoffwechsel bei Pferden, überhaupt bei Pflanzenfressern, vorliegen und man über das Minimum, welches erwachsene Thiere an den erwähnten Elementen benöthigen, noch gar nichts weiss. So weit ich aus der mir zugänglichen Literatur ersehe, hat sich mit dem anorganischen Stoffwechsel des erwachsenen Pferdes nur E. Wolff[1]) beschäftigt. Er hat bei einem Pferde zu verschiedenen Zeiten und bei verschiedener Fütterung den gesammten anorganischen Stoffwechsel bestimmt. Wenn auch gegen die Exactheit der Wolff'schen Versuche kein Einwand erhoben werden kann, so muss doch erwähnt werden, dass sie bezüglich des P-Stoffwechsels insofern mangelhaft sind, als mit Ausnahme einer einzigen Versuchsperiode der P-Gehalt des Harnes nicht bestimmt wurde, wohl in der Voraussetzung, dass dieser wegen seiner geringen Grösse vernachlässigt werden kann.

Leider erlaubten es äussere Umstände nicht, dass ich meine Untersuchungen auf den gesammten anorganischen Stoffwechsel ausdehne; ich beschränkte mich also auf die Bestimmung des P-, Ca-

---

1) E. Wolff, Grundlage für die rationelle Fütterung des Pferdes S. 53. Berlin 1886 und Grundlage für die rationelle Fütterung des Pferdes. Neue Beiträge S. 36. Berlin 1887.

und Mg-Stoffwechsels. Bezüglich des P-Stoffwechsels ergänzen meine Versuche gewissermaassen diejenigen von Wolff, da ich auch den P-Gehalt des Harnes stets bestimmt habe.

Die Versuchsreihen, bei welchen diese Untersuchungen ausgeführt wurden, dienten, wie bereits erwähnt, dazu, die Bekömmlichkeit und Verdaulichkeit des Rieselwiesenheues zu bestimmen. Die Versuchsanordnung, die übrigens an anderer Stelle — (Die landwirthschaftl. Versuchsstationen Bd. 56), — wo diese Ausnützungsversuche publicirt werden, ausführlich besprochen ist, war in der üblichen Weise derart getroffen, dass sowohl die Einnahmen als die in Betracht kommenden Ausgaben genau gesammelt und analysirt werden konnten. Es genügt also, wenn ich hier diesbezüglich sowie bezüglich der übrigen Einzelheiten des Versuches und der analytischen Daten auf jene Mittheilung verweise und hier nur dasjenige anführe, was zum P-, Ca- und Mg-Stoffwechsel in Beziehung steht resp. zur Beurtheilung der diesbezüglichen Resultate nothwendig ist.

Was zunächst die angewendeten analytischen Methoden betrifft, so wurden bei den Ca-, Mg- und P-Bestimmungen im Grossen und Ganzen die allgemein bekannten und verlässlichsten Methoden verwendet. Die Ca-Bestimmungen wurden in der Weise ausgeführt, dass das beim Veraschen durch die SiO_2 eventuell gebundene Ca nicht verloren gehe. Die aus 5—8 g Substanz — Futter oder lufttrockener Koth — gewonnene Rohasche wurde mit der doppelten Menge vorher ausgeglühten chemisch reinen, Na_2CO_3 gut vermengt und dann vorsichtig geschmolzen. Die abgekühlte Masse wurde in verdünnter HCl gelöst, eingedampft, dann ½ Stunde bei 110° C. im Trockenschrank getrocknet. Mit Ausnahme der frei und unlöslich gemachten SiO_2 löst sich dann alles in verdünnter HCl. Aus der filtrirten Lösung, die nunmehr sämmtliches Ca enthielt, wurde nach erfolgter Neutralisation mit NH_3 das Ca in der üblichen Weise mit Ammoniumoxalat gefällt, geglüht und als CaO gewogen. Aus der vom $Ca(COO)_2$-Niederschlag abfiltrirten, mit NH_3 versetzten Lösung wurde das Mg mit Na_2HPO_4 gefällt und als $Mg_2P_2O_7$ gewogen. Aehnlich verfuhren wir bei der Bestimmung des Ca und Mg im Harne, von dem 50 ccm zu je einer Analyse genommen wurden.

Zur P-Bestimmung wurden statt der Veraschung 5—8 g lufttrockenen Kothes resp. Futters, 40 ccm concentrirter H_2SO_4 in Kjeldahl-Kolben ganz so wie bei der N-Bestimmung aufgeschlossen. Nach vollendeter Oxydation wurde der Kolbeninhalt mit Wasser ver-

dünnt, und die ausgeschiedene SiO_2 durch Filtriren entfernt und im Filtrat die Phosphorsäure mittelst der Molybdänmethode bestimmt. Der Harn (500 ccm) wurde statt des Veraschens mit HNO_3 gekocht und dann die Phosphorsäure mit Ammoniummolybdat gefällt.

Da die Thiere ausser dem Futter auch mit dem Tränkwasser Ca und Mg aufgenommen haben, so wurden auch im Wasser (1000 ccm) Ca und Mg bestimmt.

Sämmtliche Analysen wurden doppelt ausgeführt, die mitgetheilten Werthe sind Mittelwerthe von wenigstens zwei gut übereinstimmenden Analysen. Wie aus den weiter unten angeführten Tabellen ersichtlich, habe ich die Resultate der Analysen nicht in der noch immer üblichen Form als CaO resp. MgO und P_2O_5 ausgedrückt, welche „ultraconservativen" Formen — wie Ostwald sie nennt — dem heutigen Stande der wissenschaftlichen Chemie nicht mehr entsprechen. Als die einfachste und beste Art, die Ergebnisse der Analyse darzustellen, bezeichnet Ostwald „die Aufführung der einzelnen Elemente mit den Mengen, in denen sie vorhanden sind" [1]). Den Vorschlag Ostwald's befolgend führte ich die Rechnung auf die Elemente selbst, bezeichne also deren Menge als Ca resp. Mg und P. Es wäre sehr wünschenswerth, dass in allen rein wissenschaftlichen Arbeiten diese einfachste und rationelle Form Anwendung fände.

Ausser den angeführten Stoffen wurde in den Einnahmen und Ausgaben auch der N (nach Kjeldahl) bestimmt, also auch der N-Stoffwechsel ermittelt.

Im Ganzen wurde der N-, P-, Ca- und Mg-Umsatz in zwei Versuchsreihen bei zwei Pferden Nr. III und IV bestimmt. In der 1. Versuchsreihe, die acht Tage, vom 2. März bis 9. März währte, erhielten die Thiere als Futter 8 kg Heu; in der 2. Versuchsreihe, die vom 15.—20. April, also sechs Tage dauerte, war das Futter 4 kg Hafer und 5 kg Heu. Im täglichen Harn wurde nur der N bestimmt; zur P-, Ca- und Mg-Bestimmung wurde fast immer der Harn von je zwei Tagen vermischt. Vom täglichen Kothe wurde je 1 % genau abgewogen, bei 60° getrocknet, zwei bis drei Tage im Zimmer stehen gelassen, gewogen, und dann vermischt und fein gemahlen, und dieses lufttrockene Pulver analysirt.

1) Ostwald, Die wissenschaftlichen Grundlagen der analyt. Chemie, 2. Aufl., S. 197. 1897.

Versuchsreihe 1.

Futter: 8 kg Heu. Das Heu enthielt.

N	1,366 %	Ca	0,440 %
P	0,146 %	Mg	0,137 %.

Das Tränkwasser enthielt 0,0049 % Ca und 0,0013 g Mg.

	Pferd III	Pferd IV
Körpergewicht am Anfange des Versuchs	408 kg	445 kg
„ „ Ende „ „	404 „	440 „
Durchschnittliches Körpergewicht [1])	406 „	442 „
Tränkwasser pro Tag (durchschnittlich)	19,6 „	26,5 „

Menge und Gehalt des Harns und Koths an N, P, Ca und Mg zeigt Tabelle 1 auf S. 231.

Versuchsreihe 2.

Futter: 4 kg Heu + 5 kg Hafer.

	Der Hafer	Das Heu enthielt:
N	2,272 %	1,844 %
P	0,406 %	0,165 %
Ca	0,143 %	0,410 %
Mg	0,104 %	0,209 %

Im Tränkwasser waren 0,0049 % Ca und 0,0013 % Mg.

	Pferd III	Pferd IV
Körpergewicht am Anfange des Versuchs	403,8 kg	432,5 kg
„ „ Ende „ „	406,5 „	436,8 „
Durchschnittliches Körpergewicht	405 „	435 „
Tränkwasser pro Tag (durchschnittlich)	17,3 „	22,0 „

Menge und Gehalt des Harns und Koths an N, P, Ca und Mg zeigt Tabelle 2 auf S. 231.

In der Versuchsreihe 1 war, wie aus den angeführten Daten ersichtlich, das Futter nicht ausreichend, das Körpergewicht der Pferde nahm durchschnittlich täglich um 0,50 resp. 0,63 kg ab, während in der Versuchsreihe 2, in welcher neben dem Heu auch Hafer verabreicht wurde, das Körpergewicht täglich um 0,45 bezw. 0,72 kg zunahm. In letzterer Versuchsreihe nahmen die Thiere auch eine viel grössere Menge verdaulicher Nährstoffe auf, wie es aus der auf S. 232 folgenden Tabelle hervorgeht.

1) Mittel aus den täglichen Wägungen.

Tabelle 1. Versuchsreihe 1.

Datum	Harn									Koth								
	Menge kg	N		P		Ca		Mg		Menge kg	N		P		Ca		Mg	
		‰	g	‰	g	‰	g	‰	g		%	g	%	g	%	g	%	g
Pferd III.																		
2. März	4,51	13,37	60,29	0,033	0,150	2,42	10,90	0,66	2,98									
3. und 4. März	9,99	14,77	147,51	0,008	0,084	2,97	29,64	0,69	6,90									
5. „ 6. „	11,17	13,08	146,10	0,008	0,091	2,71	30,27	0,66	7 41	114,98	0,353	405,6	0,0823	94,64	0,148	170,51	0,054	62,41
7. „ 8. „	9,94	13,98	138,98	0,011	0,108	3,16	31,44	0,64	6,40									
9. März	4,86	14,46	70,30	0,011	0,053	2,63	12,80	0,62	3,02									
Mittel pro Tag	5,06	13,93	70,39	0,014	0,061	2,78	14,38	0,65	3,34	14,67	0,353	50,7	0,0823	11,83	0,148	21,31	0,054	7,80
Pferd IV.																		
2. März	12,52	6,15	76,93	0,010	0,126	1,03	12,95	0,27	3,34									
3. und 4. März	22,29	6,24	139,01	0,009	0,200	1,21	26,97	0,32	7,13									
5. „ 6. „	23,74	5,93	134,36	0,020	0,462	1,18	27,92	0,29	6,77	104,04	0,406	423,3	0,091	94,77	0,168	174,7	0,059	61,81
7. „ 8. „	22,84	5,62	128,29	0,006	0,141	1,41	32,08	0,30	6,88									
9. März	10,32	6,43	66,32	0,010	0,100	1,25	12,94	0,35	3,56									
Mittel pro Tag	10,22	6,07	68,11	0,011	0,129	1,22	14,11	0,31	3,46	13,00	0,406	52,91	0,091	11,85	0,168	21,84	0,059	7,85

Tabelle 2. Versuchsreihe 2.

Datum	Harn									Koth								
	Menge kg	N		P		Ca		Mg		Menge kg	N		P		Ca		Mg	
		‰	g	‰	g	‰	g	‰	g		%	g	%	g	%	g	%	g
Pferd III.																		
15. und 16. April	11,34	19,56	221,8	0,15	1,68	—	—	0,64	7,27									
17. „ 18. „	13,21	15,04	198,7	0,11	1,43	1,26	16,64	0,48	6,38	84,7	0,34	289,8	0,164	138,4	0,122	103,4	0,075	66,52
19. „ 20. „	11,79	16,33	192,6	0,14	1,64	1,34	15,77	0,59	7,01									
Mittel pro Tag	6,06	16,27	102,2	0,13	0,792	1,30	8,10	0,57	3,44	14,12	0,34	48,3	0,164	23,07	0,122	17,23	0,075	11,09
Pferd IV.																		
15. und 16. April	19,05	8,33	158,6	0,020	0,388	0,85	16,22	0,38	7,24									
17. „ 18. „	22,31	8,70	194,1	0,045	0,999	0,60	13,31	0,30	6,66	76,75	0,417	320,7	0,183	141,1	0,145	111,9	0,083	64,22
19. „ 20. „	22,44	8,52	191,2	0,064	1,403	0,74	16,63	0,34	7,65									
Mittel pro Tag	10,64	8,52	90,65	0,043	0,465	0,73	7,69	0,34	3,59	12,79	0,417	53,45	0,183	23,5	0,145	18,66	0,083	10,70

Nummer des Pferdes		Organ. Substanz g	Rohprotein (N×6,25) g	Fett (Aetherextract) g	Rohfaser g	N-freie Extractstoffe g
	Versuchsreihe 1.					
III.	Mit dem Futter wurden täglich aufgenommen . . .	6084	683	153	2482	2766
	Mit dem Kothe entleert .	3133	317	137	1147	1533
	Also resorbirt	2951 = 48,5%	366 = 53,6%	16 = 10,8%	1335 = 53,8%	1233 = 44,6%
IV.	Mit dem Futter wurden täglich aufgenommen . . .	6084	683	153	2482	2766
	Mit dem Kothe entleert .	2896	331	130	1138	1297
	Also resorbirt	3188 = 52,4%	352 = 51,6%	23 = 15,4%	1344 = 54,2%	1469 = 53,2%
	Versuchsreihe 2.					
III.	Mit dem Futter wurden täglich aufgenommen . . .	7417	1144	351	1771	4151
	Mit dem Kothe entleert .	3355	302	158	1264	1631
	Also resorbirt	4062 = 54,8%	842 = 73,6%	193 = 55,2%	507 = 28,6%	2520 = 63,6%
IV.	Mit dem Futter wurden täglich aufgenommen . . .	7417	1144	351	1771	4151
	Mit dem Kothe entleert .	3200	342	142	1156	1560
	Also resorbirt	4217 = 56,9%	802 = 70,1%	209 = 59,4%	615 = 34,7%	2591 = 62,4%

Dass das Futter in der 1. Versuchsreihe thatsächlich ungenügend war, bewies nicht nur die Abnahme des Körpergewichtes, sondern, wie später dargethan werden wird, auch der N-Stoffwechsel; aus letzterem ging auch hervor, dass in der 2. Versuchsreihe ein Fleischansatz stattgefunden hat.

Versuchsreihe 1 bot also die Gelegenheit, den P-, Ca- und Mg-Stoffwechsel bei ungenügender, die zweite bei zur Production von Körpersubstanz ausreichendem Futter zu untersuchen.

Was den Gehalt des Futters an P, Ca und Mg betrifft, so fällt vor Allem die grosse Kalkarmuth des Heues und dessen sehr hoher P-Gehalt auf, während der Mg-Gehalt nichts Auffälliges aufweist. Der Hafer enthält relativ viel Ca und auffallend viel P. Um meine Daten augenscheinlicher mit den Daten E. Wolff's vergleichen zu können, habe ich sie auf P_2O_5, CaO und MgO umgerechnet und in der folgenden Zusammensetzung neben die von E. Wolff berechneten Mittelwerthe gestellt:

100 g Trockensubstanz enthalten

	CaO g	MgO g	P_2O_5 g
Heu der Versuchsreihe 1	0,794	0,273	0,804
Heu der Versuchsreihe 2	0,654	0,394	0,860
Nach E. Wolff[1]. Wiesenheu:			
Heu von Wasserwiesen	1,113	0,481	0.496
Ungesundes Heu[2])	0,629	0,312	0,263
(Maxim.	1,30		0,525)
Hafer unserer Versuche	0,232	0,251	2,15
Hafer, Mittel nach E. Wolff . .	0,112	0,223	0,80
(Maxim.	0,361		1,509)

Morgen[3]) fand in zwei Proben von Wiesenheu, bei dessen Verfütterung Kochenbrüchigkeit auftrat, in 100 g Trockensubstanz 0,44 resp. 0,79 g CaO und 0,24 resp. 0,31 g P_2O_5.

Es ist also zweifellos, dass das Heu in meinen Versuchen sehr kalkarm war, und zwar so kalkarm wie das ungesunde Heu aus Gegenden, in welchen Knochenbrüchigkeit beim Rinde häufig ist. Dagegen enthielt es aber sehr viel P, mehr als nach Wolff durchschnittlich gutes Wiesenheu. Auch der Hafer enthielt bedeutend mehr P. Wenn auch dieser Unterschied theilweise in der Verschiedenheit der angewandten analytischen Methode seine Erklärung finden könnte, so ist er doch zu bedeutend, um nur ausschliesslich darauf zurückgeführt werden zu können.

Da der Hafer weniger Ca enthält als das Heu und bedeutend mehr P, so verzehrten die Pferde in der 1. Versuchsreihe bedeutend mehr Ca und weniger P als in der 2. Versuchsreihe; beim Mg war der Unterschied nur ein geringer. Es wurden nämlich verzehrt in der

	P g	Ca g	Mg g
Versuchsreihe 1			
von Pferd III	11,74	36,38[4])	11,23[4])
von Pferd IV	11,74	36,72	11,33
Versuchsreihe 2			
von Pferd III	24,50	27,23[4])	14,86[4])
von Pferd IV	24,50	27,44	14,92

1) E. Wolff, Aschenanalysen landw. u. forstw. Prod. II. Theil S. 141.

2) Aus Gegenden, wo die Knochenbrüchigkeit der Thiere häufig vorkommt.

3) Morgen, Die landwirthsch. Versuchsstationen Bd. 23 S. 442.

4) Da ist das mit dem Tränkwasser aufgenommene Ca und Mg schon eingerechnet; das bedingt den kleinen Unterschied in der Ca- und Mg-Aufnahme der zwei Pferde.

Was die Ausnützung dieser Stoffe betrifft, so darf nicht vergessen werden, dass, wie zuerst Voit nachgewiesen hat, die Darmschleimhaut ebenso wie die Nieren Ca- und Mg-Phosphat aus dem Blute ausscheidet[1]), ja, dass der Darm, wie Noorden[2]) sagt, die eigentliche Secretionsstätte für den Kalk ist. Der Ca-, Mg- und P-Gehalt des Kothes ist also kein Maass für die Verdaulichkeit dieser Stoffe.

In der Versuchsreihe haben die Thiere mit dem Kothe ebenso viel P entleert, als sie mit dem Futter aufgenommen haben. Der minimale P-Ueberschuss im Koth liegt weit innerhalb der Grenzen der Versuchsfehler. In der 2. Versuchsreihe wurde mit dem Kothe etwas weniger P entleert als mit dem Futter aufgenommen. Den Verlust an P, Ca und Mg durch den Koth in Procenten der im Futter resp. Futter und Tränkwasser aufgenommenen Menge dieses Stoffes zeigen folgende Zahlen:

	P g	Ca g	Mg g
Versuchsreihe 1.			
Pferd III	100,8	58,8	69,5
Pferd IV	100,9	59,5	69,3
Versuchsreihe 2.			
Pferd III	94,2	63,3	68,0
Pferd IV	95,9	74,6	71,7

Diese Zahlen stimmen mit denjenigen E. Wolff's[3]) nur theilweise überein. In E. Wolff's Versuchen gingen mit dem Kothe vom Ca 35,36—42,96 %, vom Mg 59,24—61,84 % verloren, also weniger wie in meinen Versuchen, nach welchen mehr als $^2/_3$ des Ca und fast $^3/_4$ des Mg des Futters mit dem Kothe entleert werden können. Der P wird, wie auch E. Wolff fand, ganz oder fast ganz mit dem Kothe entleert.

In der Versuchsreihe 2, in welcher die Pferde neben Heu auch Hafer erhielten, ging mit dem Kothe relativ mehr Ca und Mg verloren, wie in der Versuchsreihe 1. Vielleicht sind das Ca und Mg im Hafer in weniger leicht verdaulicher resp. löslicher Verbindung

1) Voit in Hermann's Handb. d. Physiol. Bd. 6 S. 373.
2) Noorden, Lehrb. d. Pathologie des Stoffwechsels S. 20.
3) E. Wolff, Grundl. d. ration. Fütterung etc. Neue Beiträge 1897 S. 40.

vorhanden oder setzt der Hafer die Verdaulichkeit der Ca-Verbindungen des Heues herab. Meine Versuche entscheiden diese Frage nicht.

Da der Gehalt des Harnes an P, Ca und Mg in erster Reihe von der resorbirten Menge dieser Stoffe abhängt, so war im Harn wenig P und relativ viel Ca und Mg zu erwarten. Im ersten Versuch fand sich auch thatsächlich im Harn beider Pferde — besonders bei Pferd III — nur sehr wenig P; bei letzterem Pferde nur 0,06 g P pro Tag. doch war das Minimum 0,042 g, so dass der Harn nur 0,0008 % P enthielt. Etwas mehr P entleerte das Pferd 2. Hingegen entleerten die Pferde in der 2. Versuchsreihe mit dem Harne nicht unbedeutende Mengen P, Perd III täglich 0,792 g und Pferd IV 0,465 g, Mengen, die durchaus nicht zu vernachlässigen sind. (Ist doch 0,792 g P = 3,63 g P_2O_5 und 0,465 g P = 2,13 g P_2O_5.) **Jedenfalls beweisen diese Zahlen, dass Pferde bei P-reichem Futter — Hafer — nicht unbedeutende Mengen P mit dem Harn entleeren.**

E. Wolff bestimmte nur in einer Periode seiner 2. Versuchsreihe den P-Gehalt des Harnes und fand pro Tag 0,88 g P_2O_5; mit dem Futter verzehrte das Pferd 62,79 g P_2O_5; Salkowski[1]) fand im 24stündigen Harn eines Pferdes 0,22 g P_2O_5.

Die Menge des im Harn entleerten Ca und Mg entspricht annähernd der resorbirten Menge. Sie ist kleiner als bei Ca und Mg-reichem Futter. Wenn es auch nicht zu bezweifeln ist, dass das Ca und Mg im Harn aus dem Futter stammt, ist es immerhin interessant, dass der Quotient $\frac{Mg}{Ca}$ des Harnes vollständig übereinstimmt mit dem Verhältniss des resorbirten Ca zum resorbirten Mg:

		Resorbirt $\frac{Ca}{Mg}$	Mit dem Harn entleert $\frac{Ca}{Mg}$
1. Versuch.	Pferd III . . .	4,38	4,31
1. Versuch.	Pferd IV . . .	4,38	4,08
2. Versuch.	Pferd III . . .	2,92	2,08
2. Versuch.	Pferd IV . . .	2,08	2,14

Den P-, Ca- und Mg-Stoffwechsel pro Tag zeigt die folgende Tabelle, in die ich auch den N-Stoffwechsel aufgenommen habe.

1) Citirt nach Tereg und Ellenberger, siehe Vergl. Physiol. der Haussäugethiere Bd. 1 S. 382.

Tabelle 3.

Täglicher N-, P-, Ca- und Mg-Umsatz.

	N g	P g	Ca g	Mg g
Versuchsreihe 1.				
Pferd III.				
Futter: 8 kg Heu	109,28	11,74	35,40	10,97
Tränkwasser (19,6 kg)	—	—	0.98	0 26
Gesammtaufnahme	109,28	11,74	36,38	11,23
Koth	50,70	11,83	21,31	7,80
Also resorbirt	58,58	(—0,09)	15,07	3,43
Mit dem Harn entleert	70,39	0,061	14,38	3,34
Bilanz	—11,81	—0,15	+0,69	+0,09
(Durchschnittliche Veränderung des Körpergewichtes pro Tag: — 0,5 kg.)				
Pferd IV.				
Futter: 8 kg Heu	109,28	11,74	35,40	10,97
Tränkwasser (26,5 kg)	—	—	1,32	0,36
Gesammtaufnahme	109,28	11,74	36,72	11,33
Koth	52,91	11,85	21,84	7,85
Also resorbirt	56,37	(—0,11	14,88	3,48
Mit dem Harn entleert	68.11	0,13	14,11	3,46
Bilanz	—11,74	—0,24	+0,77	+ 0,02
(Durchschnittliche Veränderung des Körpergewichtes pro Tag: —0,63 kg.)				
Versuchsreihe 2.				
Pferd III.				
Futter: { 5 kg Heu	92,20	8,26	20,61	10.44
Futter: { 5 kg Hafer	90,88	16,24	5,74	4,18
Tränkwasser (17,3 kg)	—	—	0,88	0.24
Gesammtaufnahme	183,08	24,50	27,23	14,86
Koth	48,30	23,07	17.23	11,09
Also resorbirt	134,78	1,43	10,00	3,77
Mit dem Harn entleert	102,16	0,79	8,10	3,44
Bilanz	+32,62	+0,64	+1,90	+0,33
(Durchschnittliche Veränderung des Körpergewichtes pro Tag: + 0,45 kg.)				
Pferd IV.				
Futter: { 5 kg Heu	92,20	8,26	20,61	10,44
Futter: { 4 kg Hafer	90,88	16,24	5,74	4,18
Tränkwasser (22,0 kg)	—	—	1,09	0,30
Gesammtaufnahme	183,08	24,50	27,44	14,92
Koth	53,45	23,50	18,66	10,70
Also resorbirt	129,63	1,00	8,78	4,22
Mit dem Harn entleert	90,65	0,47	7,69	3,59
Bilanz	+38,98	+0,53	+1,09	+0,63
(Durchschnittliche Veränderung des Körpergewichtes pro Tag: + 0,72 kg.)				

Aus dieser Tabelle geht vor Allem hervor, dass der Stoffwechsel in je einer Versuchsreihe also unter ganz gleichen Versuchs-

bedingungen bei beiden Pferden ganz gleich verlaufen ist, was die Zulässigkeit der aus den Ergebnissen gezogenen Schlüsse in hohem Maasse stützt.

Der N-Stoffwechsel beweist, dass in der ersten Versuchsreihe bei ungenügendem Futter die Thiere aus ihrem eigenen Eiweissbestande zugesetzt haben. Das thatsächliche N-Deficit ist jedenfalls grösser gewesen als das aus den Zahlen der Tabelle berechnete. Denn erstens geht beim Trocknen des Kothes immer etwas N verloren und zweitens verlieren die Thiere durch Ausfall von Haaren, Abnützung der Hufe, Abfall der Epidermisschuppen u. s. w. fortwährend N, welcher Verlust nach E. Wolff pro Tag etwa 7 g[1]) beträgt. Wir müssen das berechnete N-Deficit in unserem Versuche dementsprechend um 7 g erhöhen. Es hat also jedes Pferd täglich etwa 19 g N verloren, was annähernd 600 g Fleisch entspricht. (Das eine Pferd verlor täglich durchschnittlich 630 g, das andere 500 g an Körpergewicht.)

Ebenso wie die Thiere sich in N-Deficit befanden, waren sie auch in P-Deficit. Es wurde schon erwähnt, dass der ganze P des Futters in Kothe wiedergefunden wurde, folglich kann der P des Harnes nur aus der Körpersubstanz stammen. Das folgt übrigens schon aus dem N-Umsatz. Dem 19 g N-Verlust entspricht ein Fleischverlust von etwa 600 g; wird nun so viel Fleisch zersetzt und die Zersetzungsproducte entleert, so muss natürlich auch der P des Fleisches in den Harn gelangen. Nach Zuelzer[2]) entfallen im Pferdemuskel auf 100 g N 15,7 g $P_5 O_2$, was 3,43 g P entspricht. Mithin würde einem N-Verlust von 19 g ein Verlust von 0,65 g P entsprechen; der nachgewiesene P-Verlust beträgt aber nur 0,15 g bei dem einen und 0,24 g bei dem anderen Pferde. Der beobachtete P-Verlust könnte also jedenfalls in dem aus dem N-Deficit in der üblichen Weise berechneten Fleischverlust seine Erklärung finden. Der Unterschied zwischen dem aus dem Fleischverlust berechneten und dem thatsächlich ermittelten P-Deficit ist jedoch zu bedeutend, als dass er vielleicht auf Versuchsfehler zurückgeführt werden könnte.

Die wahrscheinlichste Erklärung dieses grossen Unterschiedes ist die, dass bei ungenügender Eiweisszufuhr ausser Muskelsubstanz auch noch andere P-ärmere Gewebe zersetzt werden.

1) E. Wolff, Grundl. d. ration. Fütterung d. Pferdes. Neue Beiträge S. 106.
2) Zuelzer, Untersuch. üb. die Semiologie des Harns S. 47. Berlin 1884.

In der zweiten Versuchsreihe weist der N-Stoffwechsel einen Eiweissansatz nach; bei dem einen Pferde blieben täglich 32,62 g, bei dem anderen 38,98 g N zurück. Zieht man von diesen Beträgen im Sinne des oben Gesagten etwa 7 g als nicht bestimmten N-Verlust ab, so blieben bei Pferd III annähernd 25 g, bei IV 30 g N zurück, was 750 resp. 920 g täglichem Fleischansatz entsprechen würde. Das Körpergewicht nahm täglich durchschnittlich um 450 resp. 750 g zu. Es braucht wohl nicht näher erörtert zu werden, dass ebensowenig wie beim N-Deficit auch beim N-Ansatz der berechnete Fleischverlust beziehungsweise Fleischansatz mit der beobachteten Körpergewichtsveränderung nicht übereinstimmen muss resp. nur selten übereinstimmen wird.

Neben dem N-Ansatz liess sich in dieser Versuchsreihe auch ein P-Ansatz nachweisen, bei dem einen Pferde 0,64 g, bei dem anderen 0,53 g. Berechnet man, wie oben auf Grund der Zuelzerschen Angaben, wie viel P-Ansatz dem N-Ansatz entspricht, so erhält man 0,86 g resp. 1,1 g P, also mehr. Als wahrscheinlichste Erklärung dieser Differenz dürfte wohl die Annahme gelten, dass der zurückgebliebene N ausser zu Fleisch(Muskel)substanz auch noch zur Bildung P-ärmerer Gewebe verwendet wurde, was mit unseren Befunden bei ungenügender Eiweisszufuhr gut übereinstimmt. Bei letzterer werden nämlich, wie oben erwähnt, wahrscheinlich ausser Muskelsubstanz auch P-ärmere Gewebe zersetzt, welch' letztere dagegen bei abundanter Eiweisszufuhr ausser Muskelsubstanz gebildet werden würden.

Die Versuche beweisen jedenfalls, dass zwischen N- und P-Stoffwechsel ein gewisser Parallelismus besteht.

Aus dem Ca- und Mg-Umsatz geht hervor, dass trotz der bedeutenden Ca-Armut des Futters, die resorbirte Ca- und Mg-Menge genügte, den Bedarf zu decken, ja dass von diesen Stoffen sogar noch etwas zurückgehalten wurde. Abgesehen von den Versuchsfehlern ist die thatsächliche Ca-Retention jedenfalls geringer als die gefundene, da einerseits das Ca, das mit den Epidermisgebilden verloren geht, nicht bestimmt wurde und andererseits der etwas grössere oder geringere Staubgehalt des Futters Fehler bei unserer Ca-Bestimmung verursachen konnte. Eben dieser Umstand bedingt eine gewisse Vorsicht in der Beurtheilung der Befunde. Immerhin glaube ich wenigstens im zweiten Versuche auf eine Ca-Retention folgern zu

können. Weiterhin dürften diese Versuche mit grosser Wahrscheinlichkeit dafür sprechen, dass die im Körper zurückgehaltene Ca-Menge auch beim erwachsenen Thiere der resorbirten Ca-Menge nicht nothwendiger Weise proportional ist. Im ersten Versuche wurden durchschnittlich täglich 15 g Ca resorbirt, im zweiten Versuche nur 9 g, und doch war die Ca-Retention in diesem Versuche grösser.

Zur Beurtheilung der relativen Grösse der P-, Ca- und Mg-Zufuhr berechnete ich für meine Versuche die täglich pro 1 kg Körpergewicht verzehrte P-, Ca- und Mg-Menge. Pro Tag und 1 kg Körpergewicht verzehrten:

	P	Ca	Mg
Pferd III in Versuch 1	0,029 g	0,090 g	0,028 g
Pferd IV in Versuch 1	0,027 g	0,083 g	0,026 g
Pferd III in Versuch 2	0,061 g	0,067 g	0,037 g
Pferd IV in Versuch 2	0,056 g	0,083 g	0,034 g
Das Pferd E. Wolff's durchschnittl.	0,031 g	0,150 g	0,051 g

Aus solchen Zahlen auf das zur Erhaltung des Gleichgewichtes der fraglichen Elemente im Stoffwechsel nöthige Minimum zu schliessen, hat nur bedingten Werth, denn es kommt ja nicht auf die absolute Menge im verzehrten Futter, sondern auf die Menge des verdaulichen Antheils an. Es wird sich also für jedes Futter ein anderes Minimum ergeben. So viel aber geht aus den mitgetheilten Daten noch hervor, dass bei dem gewöhnlichen gemischten Futter von Pferdeheu und Hafer eine bedeutend geringere Ca-Menge zur Erhaltung des Ca-Gleichgewichts genügt als die Ca-Menge, die in E. Wolff's Versuchen verfüttert wurde. (Führten doch schon 0,069 g pro 1 kg und Tag zu einem Ca-Ansatz.) Mit dieser geringen Ca-Menge konnten die Pferde ihr Ca-Gleichgewicht nicht nur während der kurzen Versuchszeit, sondern lange Zeit hindurch erhalten. Wenigstens glaube ich das aus dem Umstande mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit folgern zu können, dass sie fast $^{3}/_{4}$ Jahr hindurch dieses kalkarme Futter ohne den geringsten Schaden erhielten.

Aus meinem Versuche geht schliesslich auch noch hervor, dass die Menge des Tränkwassers keinen Einfluss hat weder auf die Resorption noch auf den Umsatz des Ca und Mg. Trotzdem das Pferd III in der ersten Versuchsreihe täglich durchschnittlich um 6,9 l, d. h. um 35 % in der Versuchsreihe 2 um 4,7 l, d. h. um 27 % mehr Wasser soff als das andere Pferd, war doch der Ca- und Mg-Umsatz bei beiden Thieren ganz gleich.

Zur anatomischen Grundlegung der Kleinhirnphysiologie.

Mit Bemerkungen über Ataxie und Bewusstsein.

Von

Dr. **Oscar Kohnstamm** (Königstein i. T.).

Bei Erörterung der Frage, ob das Kleinhirn mehr als ein sensibles oder ein motorisches Organ zu betrachten sei, sind die neueren anatomischen Daten noch nicht genügend gewürdigt worden. Und doch sind diese vollständig genug, um ein annäherndes Bild von der Maschinerie zu geben, auf der sich die Thätigkeit des Organes abspielt. Als wesentliche und gesicherte Thatsachen sind nach meinen histologischen und kritischen Studien (2, 3) die folgenden zu betrachten:

Die Purkinje'schen Zellen sind die einzigen ableitenden Elemente der Kleinhirnrinde. Sie nehmen mit ihrem Körper und ihren Denditen die zuleitenden Nurone theils direct auf, theils durch Vermittlung anderer Rindenzellen. Ihre Axone gehen in der Hauptsache nach dem Brückengrau, den grossen Oliven und den centralen Kleinhirnkernen. Die weiteren cerebellofugalen Fasern sind Axone der centralen Kleinhirnkerne, die ich wegen ihrer gleichartigen Structur als ein System betrachte. Von diesen stellen die Bindearme, die Tractus cerebello-thalamici, eine mächtige corticopetale Verbindung mit dem Grosshirn her. Ihre im rothen Haubenkern der Gegenseite endigenden Fasern und Collateralen erregen die daselbst entspringende kreuzende Coordinationsbahn [1]), den Tractus rubro-spinalis

---

1) Coordinationszellen bilden die Ursprungskerne der secundär-motorischen Bahnen (Coordinationsbahnen). Sie haben histologisch meist den „motorischen" Typus der Vorderwurzelzellen. Als Coordinationskerne habe ich ausser den zerstreuten Coordinationszellen des Rückenmarks beschrieben (2): den Nucl. reticularis, Nucl. Deiters, Nucl. intratrigeminalis tecti, Nucl. ruber tegmenti, Nucl. fascic. longitud. dorsal. („oberer Oculomotoriuskern"). Hierzu kommen die Riesenpyramiden der motorischen Zone, aus denen die Pyramidenbahn entspringt. Beim Kaninchen entspringt sie aus Pyramidenzellen, die nicht den „motorischen" Typus tragen. Aus allen Coordinationsbahnen treten rechtwinklig umbiegende Collateralen oder Stammfasern in die Gegend der motorischen Vorderwurzelzellen.

(Monakow'sches Bündel, Held, Redlich, Probst, Verf.). So entsteht die doppelt gekreuzte Cerebello-rubro-spinalbahn, die jede Kleinhirnhälfte mit der gleichen Rückenmarks-Hälfte verbindet. Die Fibrae cerebello-vestibulares (Thomas [10]) verbinden den centralen Kern mit dem gleichseitigen Deiters'schen Kern, von dem der Tractus vestibularis efferens zu den Augenmuskelkernen und der gleichseitigen Rückenmark-Hälfte zieht. Den Deiters'schen Kern definire ich als die Gesammtheit der im Endgebiet des Nervus vestibularis gelegenen Coordinationszellen und schlage für ihn die systematische Bezeichnung Nucl. tract. vestibularis efferentis vor. Er schliesst ausser dem vestibulo-spinalen Reflexbogen die ungekreuzte Cerebello-vestibulo-spinalbahn. Diese mit der Cerebello-rubro-spinalbahn bilden die offenbar motorischen Ausstrahlungen des Kleinhirns, die motorischen Cerebellarbahnen.

Die direct oder mit Unterbrechung aus dem Rückenmark zum Kleinhirn aufsteigenden Spinalbahnen sind ebenso eindeutig als sensible („receptorische" [1]) Einstrahlungen charakterisirt. Die Bahnen, die weder motorisch noch sensibel sind, können als intermediär bezeichnet werden. Hierher gehören ausser dem Tract. cerebello-thalamicus die Verbindungen mit den „Anhangsorganen". Diese, das Brückengrau und die grossen Oliven [1]), sind dadurch gekennzeichnet, dass sie sowohl durch zuleitende als durch ableitende Bahnen mit dem Kleinhirn verbunden, also gewissermaassen in seinen Erregungskreis eingeschaltet sind.

Von den aufsteigenden Spinalbahnen gelangt die Mehrzahl in die Rinde des Wurms. Kurz zusammengefasst stellt sich ihr Verlauf so dar: Die hinteren Wurzeln steigen in den Hintersträngen auf und endigen an den Hinterstrangkernen. Ein Theil der Hinterstrangfasern ist in Zellen des grauen Substanz unterbrochen, von denen wieder „endogene" aufsteigende Hinterstrangfasern

---

1) Es ist viel gestritten worden, ob die Oliven-Kleinhirnfasern zu oder vom Kleinhirn leiten. Da für beide Annahmen eindeutige Degenerationsbefunde vorliegen und die Oliven nicht Ursprungskerne spinaler Bahnen, wie Kölliker will, sein können, weil sie nach hoher Hemisection intact bleiben (v. Monakow, Verfasser), so ist dem tektonischen Gesetz, nach dem in Bezug auf jeden Kern zuleitende und ableitende Neurone vorhanden sein müssen, durch die Formel genügt: Es gibt Fibrae cerebello-olivares und Fibrae olivo-cerebellares. Ferner sind die grossen Oliven wahrscheinlich Endkerne für die absteigende „centrale Haubenbahn" und für einige Fasern des Tract. antero-lateralis ascendens.

entspringen. Diejenigen Keilstrang-Fasern, die sich, ohne Unterbrechung im Keilstrang-Kern. dem Strickkörper anschliessen, sind wahrscheinlich von letzterer Art. — Von den Hinterstrangkernen entspringen ausser den inneren Bogenfasern, die nachher in der medialen Schleife zum Sehhügel ziehen, zahlreiche Fasern, die direct oder mit Unterbrechung in den Nucli arciformes dem Kleinhirn zustreben.

Die „cinereopetalen" Elemente der hinteren Wurzeln, die in's Hinterhorn eintreten, endigen an den Zellen der grauen Substanz. Von den Zellen der Clarke'schen Säule entspringt die Kleinhirn-Seitenstrangbahn (Tract. spino-cerebellaris dorsalis), von anderen Zellen der grauen Substanz die in der vorderen Commissur kreuzenden Fasern des Tract. antero-lateralis ascendens. Von diesen gelangt ein Theil mit dem Strickkörper in's Kleinhirn (Fibrae spino-cerebellares ventro-dorsales [ad Corpus restiforme]), ein Theil endigt im Seitenstrang-Kern, dessen Axone im Strickkörper zum Kleinhirn ziehen. Die Hauptmasse steigt in der Brücke, den Bindearm umschlingend, als Tract. spino-cerebellaris ventralis (Gowers'scher Strang sensu strictiore) zur Rinde des Unterwurms. Der Rest gelangt in enger räumlicher Beziehung zur medialen und lateralen Schleife in's Dach der Vierhügel und den ventralen Sehhügelkern. Das sind die Edinger'schen Fasern (Fibrae spino-tectales und Fibrae spino-thalamicae).

Von sämmtlichen Fortsetzungen der hinteren Wurzeln gelangt also nur die an die Hinterstrangkerne angeschlossene Thalamusschleife und die Gruppe der Edinger'schen Fasern zu den Endstätten des Schleifensystems, von denen Fasern zur Grosshirnrinde entspringen. Die Mehrzahl geht in's Kleinhirn! Von den sensiblen Hirnnerven ist es besonders der Bogengang-Nerv, der eine mächtige Fasermasse dahin sendet (directe sensorische Kleinhirnbahn Edinger's).

Die Function anlangend wissen wir aus der Pathologie der Tabes, dass die dem Muskelgefühl entsprechenden Sensationen („Receptionen") in den Hintersträngen geleitet werden. Die Symptomatologie der Syringomyelie und der Brown-Séquard'schen Halbseitenläsion (vergl. Oppenheim [6]) lehrt, dass die Leitung der Temperatur- und Schmerzsensationen an die in der grauen Substanz entspringenden kreuzenden Neurone des Tract. antero-lateralis ascendens gebunden ist. Die Leitung der tactilen Hautsensibilität geschieht vermuthlich auf allen aufsteigenden Bahnen. Da nun ein erheblicher Theil aller dieser Systeme in's Kleinhirn geht, so ergibt sich der sehr wahrscheinliche Schluss, dass von jeder

Qualität zahlreiche Fasern in's Kleinhirn gelangen, und nicht etwa nur eine kleine Auswahl solcher, die für die Coordination besondere Wichtigkeit hätten.

In der Kleinhirnrinde wirken die Leiter der Körpersensibilität auf die Purkinje'schen Zellen, von denen die motorischen Cerebellarbahnen angeregt werden. Hierbei ist volle Gelegenheit gegeben, dass die Bewegungsform nach zeitlichem Ablauf, Stärke und Ausgiebigkeit, sowie nach ihrer Zusammensetzung aus antagonistischen und synergistischen Componenten fortlaufend beeinflusst wird durch die während und in Folge der Bewegung wechselnden, peripher entstehenden Sensationen. Da die Maschinerie zur Erfüllung solcher Zwecke vorhanden ist, darf man schliessen, dass eine derartige Gegenwirkung auch stattfindet, — wie das durch klinische und physiologische Erfahrung bestätigt wird. — Nachdem nun fesgestellt ist, dass das Kleinhirn darauf eingerichtet ist, Sensationen aller Qualitäten (mit Ausnahme der höheren Sinne!) auf die motorischen Aeusserungen des Organismus einwirken zu lassen, erhebt sich die Frage, welche Bewegungsfolgen Schmerz- und Temperaturreize etwa haben können. Dass ausser den in Sehnen-, Gelenk- und Muskelnerven entstehenden centripetalen Erregungen auch die tactilen Sensationen, die durch Druck und Spannung der Haut ausgelöst werden, zum Bewegungs- und Lagesinn beitragen, ist klar. Aber auch die von wunden Hautstellen und ermüdeten Muskeln ausgehenden Schmerzen haben beträchtlichen kinematischen und energetischen Einfluss auf den Ablauf der Bewegung (Zuntz und Schumburg). Die so ermöglichte Schonung empfindlicher Körpertheile lässt den Zufluss von Schmerzsensationen zu Bewegungscentren als sehr zweckmässig erscheinen. Temperaturreize haben ebenfalls bedeutenden Einfluss auf den Bewegungshabitus. Es gibt ein Temperaturminimum, unterhalb dessen die Gliedmaassen nicht mehr optimal bewegt werden. Die Kältesteifheit der Finger rührt wenigstens zum Theil von Störungen der Sensomobilität her, bei der gewiss auch das Kleinhirn beteiligt ist. Ebenso dürfte es im Spiel sein bei der Aufrechterhaltung des durch Temperaturreize regulirten Reflextonus, auf dem wesentlich die „chemische Wärmeregulation" beruht.

Es erscheint daher nicht nur nicht unverständlich, sondern zweckvoll, dass Schmerz- und Temperaturbahnen in's Kleinhirn einströmen, was augenscheinlich auf dem Wege des Tract. antero-lateralis und speciell des Gowers'schen Stranges geschieht.

Das Kleinhirn ist ein besonders reich entfalteter Reflexapparat für die Stabilität und Locomotion des Körpers. Das Centralnervensystem ist eine Uebereinanderschichtung von Reflexapparaten, von denen jeweilig der niedere in den Dienst des höheren zu treten bereit ist. Eine Anzahl reflectorischer Bewegungscombinationen leistet schon der spinale Reflexbogen, mehr der cerebellare und der thalamische, die complicirtesten der cerebrale. Alle diese Reflexapparate besitzen u. A. zwei Eigenschaften, die man gewohnt ist nur dem cerebralen zuzuschreiben, nämlich das Localzeichen und die intellectuelle Regulirung, Beides im objectiven Sinne genommen. Als objectives Localzeichen bezeichne ich, ähnlich wie Sherrington, diejenige Besonderheit (den Index) der Reflexmodification, die von der Veränderung der Auslösungsstelle abhängt. Objective Localzeichen sind beim decapitirten Frosch, ja bei enthaupteten Schmetterlingen und bei gewissen Medusen (Tiaropsis indicans, citirt nach Sherrington [8]) nachzuweisen. Objectiv-intellectuelle Regulirung nenne ich denjenigen Zusammenhang zwischen Reiz und Reaction, vermöge dessen die letztere je nach dem Reiz modificirt und zweckentsprechend ausfällt, ohne dass ich dabei irgend einen Bewusstseinsvorgang als nothwendige Begleitung voraussetze. Unter den Begriff der objectiv-intellectuell regulirten Reaction fallen fast alle Reflexe, denn es gibt kaum einen, dem nicht eine zweckvolle und lebenserhaltende Bedeutung zukäme, und der nicht in grösserem oder kleinerem Umfang modificirbar wäre. Der mit der menschlichen Zweckhandlung einhergehende Erregungsvorgang unterscheidet sich von unbewussten Reflexen durch die Qualität[1]), Intensität und Extensität der Sensationen und Associationen, die in einem gewissen Grad vorhanden sein müssen, um Bewusstsein zu bedingen, d. h. um aus der Möglichkeit der Bewusstheit, dem virtuellen Bewusstsein, das actuelle psychische Phänomen hervorgehen zu lassen. Das Attribut „intellectuell" in dem Begriff der intellectuellen Regulirung ist nicht willkürlich in einem neuen Sinn gebraucht, sondern soll meine Ueberzeugung ausdrücken, dass die intellectuell regulirte Reaction nach ihrem Wesen und nach dem äusseren Kriterium der Zweckmässigkeit der bewussten Zweckhandlung gleichwerthig und dass das Hinzutreten des Bewusstseins zu einer zweckmässigen Reaction etwas Accidentelles, etwas weniger Wesentliches ist. Meine Hypothese gründet sich darauf, dass es sub-

---

1) = Rhythmus? — Vgl. Anmerkung am Schluss der Abhandlung.

corticale und im Unbewussten arbeitende Apparate gibt, deren Function nur nach Art der intellectuellen Arbeit zu verstehen ist, wie wir sie auch im Bewusstsein als solche erleben. Wer sich klar gemacht hat, welche schwierigsten mechanisch-statischen Probleme das Kind beim Gehenlernen, der Erwachsene beim Radfahren und Schwimmen, gleichsam experimentell ausprobirend und die zweckmässige Bewegungsform auswählend, löst, wird bescheiden zugeben, dass kaum der geschickteste Mathematiker theoretisch construiren kann, was er in der Praxis spielend zu Stande gebracht hat. Ich behaupte nun, dass Beides, Theorie und Praxis, von verschiedenen Hirntheilen mit principiell den gleichen Mitteln geleistet wird, dass aber die bewusste Zweckhandlung nur einen kleinen Ausschnitt aus dem weiten Reich der objectiv-intellectuellen Regulirung, nur einen Zweig am Baume der organischen Zweckmässigkeit bedeutet. Die sogen. höheren intellectuellen Processe werden ermöglicht durch die Fixirung ihrer Phasen in der Münze begrifflich-sprachlicher Symbole. Der allgemeine Begriff der intellectuellen Regulirung [1]) deckt ungefähr dasselbe Gebiet wie Pflüger's Princip der mechanischen Teleologie, nach dem das Bedürfniss dem Lebewesen zur Ursache der Befriedigung des Bedürfnisses wird. Die objectiv-intellectuelle Regulirung betrifft nicht allein Bewegungs-, sondern auch Secretionsvorgänge, von denen Pawlow im Einzelnen gezeigt hat, dass sich der Beschaffenheit der Speisen die Zusammensetzung der Verdauungssecrete zweckmässig anpasst. Der Ablauf der Reactionen ist der causal-naturwissenschaftlichen, am Ende sogar der energetischen Behandlung principiell zugänglich. Die Entstehung der Maschinerie, auf der sich die Reaction abspielt, mit den durch sie repräsentirten Umformungsgesetzen [2]), gehört zu den entwicklungsmechanischen Problemen, von denen sich immer wieder eine causal lösbare Componente abspalten lässt.

Die sensible Function des Kleinhirns ist nicht damit erschöpft, dass es eine breite Angriffsfläche für die centripetale Regulirung

---

1) Ich fand bis jetzt keinen besseren Ausdruck. Auch „unbewusste Intelligenz" will mir nicht gefallen, weil sie nicht das vom Bewusstsein Abgeleitete, sondern das Primäre ist. Einigermaassen entsprechend ist: „intellectuell-reflectorische Anpassung". Vergl. Anmerkung S. 251.

2) Vgl. den Begriff der Dominanten bei Reinke (7). Dominanten sind die durch die feinste Structur gegebenen, für Richtung und Art der Energie-Umsetzungen maassgebenden Kräfte (nicht energetischer Natur). Die Reflexdominanten sind entweder angeboren (primitive Reflexe, Instinct) oder erworben (Remanenz! Siehe S. 247).

der Bewegungen liefert. Es ist vielmehr kürzlich von M. Lewandowsky (5) gezeigt worden, dass Thiere, denen eine Hälfte des Kleinhirns exstirpirt war, Störungen des Lagegefühles zeigten, indem sie sich unnatürliche Stellungen der Glieder gefallen liessen; d. h. die durch die veränderte Lage ausgelösten Sensationen kamen nicht mehr in hinreichendem Maasse zur Wirkung auf die motorischen Centren der Grosshirnrinde. Ganz ähnliche Störungen werden bekanntlich durch Läsionen dieser letzteren Centren bedingt. Schon desshalb ist es wahrscheinlich, dass eine innige Verbindung zwischen Kleinhirnrinde und Centralwindungen besteht. Eine solche wird gegeben durch den Bindearm, der vom centralen Kleinhirnkern zum ventralen Thalamuskern leitet, von welch' letzterem aus Fibrae thalamocorticales nach den Centralwindungen ziehen. Eine corticofugale Bahn zum Kleinhirn wird hergestellt durch die frontale und die temporo-occipitale Brückenbahn zu den Zellen der Nuclei pontis, deren Axone grossentheils in die Kleinhirnrinde gelangen. Dadurch ist das Kleinhirn in den Associationskreis der Grosshirnrinde eingeschaltet. Uebrigens ist die Kleinhirnrinde in Bezug auf die Verknüpfung ihrer Zellen und auf kurze und längere Associationsfasern kaum weniger complicirt, wenn auch gleichmässiger gebaut, als jene.

Die corticofugalen Bahnen zur Brücke, mit Ausnahme der Pyramidenbahn [1]), sind nach obigen Ausführungen zwar centrifugal, aber nicht motorisch. Sie sind wohl mit den intracerebralen Associationsbahnen zu vergleichen, wie sie zu den sensüellen Centren, z. B. zur Sehsphäre, ziehen. Dieselben können kaum anders fungiren, als dass sie die betreffenden sensiblen Apparate erregen, was der eigentlichen Association entspricht, oder dass sie ihre Erregbarkeit erhöhen. Erhöhung der Erregbarkeit der centralen Sehzellen würde unter Umständen diejenige Erniedrigung der Reizschwelle bedeuten, die der Aufmerksamkeit zu Grunde liegt. Nach den Befunden von Held, Ramón y Cajal und Wallenberg (12) kommen nun centrifugal gerichtete Neurone zu sensiblen Endkernen ebenso den subcorticalen Theilen der Sinnesleitungen zu.

Es liegt am nächsten, auch von ihnen anzunehmen, dass sie die Erregbarkeit ihrer Endkerne in positivem und negativem Sinne zu be-

1) Die zahlreichen Collateralen der Pyramidenbahn zum Brückengrau dienen wohl mehr der eigentlich motorischen Beeinflussung des Kleinhirns und der motorischen Cerebellarbahnen.

einflussen vermögen. Sie würden dann den Namen „Einstellungsbahnen“ verdienen. Als Associations- und Einstellungsbahnen zum Kleinhirn möchte ich auch jene corticopontinen Systeme auffassen.

Durch die vorausgegangenen Erörterungen sollte plausibel gemacht werden, dass im Kleinhirn Sensationen aller Art eintreffen und verwerthet werden, dass ferner das Organ in den Associationskreis des Grosshirns eingeschaltet ist. Zum Zweck des Nachweises, dass es mit principiell denselben Mitteln, wenn auch für andere und beschränktere Aufgaben arbeitet als jenes, bedarf es noch der Untersuchung, wie weit derartige subcorticale Apparate im Stande sind, individuell erworbene Eindrücke aufzubewahren und zu verwerthen, inwieweit eine „Remanenz“ [1]) vorausgegangener Erregungen kommende Erregungen bahnend beeinflusst. Man hat mit Recht das Maass der Remanenz als einen Gradmesser der nervösen Organisation der Thiere bezeichnet. Für weniger zulässig aber halte ich es, die physiologisch nachweisbare Fähigkeit eines Thieres, „Erfahrungen zu machen“, als entscheidendes Kriterium für das Vorhandensein psychischer Vorgänge zu erklären. Zwischen der objectiv nachgewiesenen Verwerthung individueller Erfahrungen und der Remanenz ist keine Grenze zu ziehen, und Beides muss daher in den Begriff der Remanenz zusammengefasst werden. Da von dieser gleich gezeigt werden soll, dass sie ohne psychische Begleiterscheinungen bestehen kann, fällt mit der individuellen Erfahrung auch das letzte objective Kriterium des Bewusstseins. —

Dass der Weg zur Remanenz nicht nothwendig durch das Bewusstsein geht, kann nur aus der Selbstbeobachtung entnommen werden. Diese aber lehrt, dass fast alle die complicirten Associationen des Bewegungssinnes, die beim Erlernen der Turnkünste, des Radfahrens und anderen Sports zum Zwecke der Stabilität erworben werden, sich unterhalb der Bewusstseinsschwelle abspielen. Wenn ferner nach Zerstörung centraler Theile (Apoplexie, Hirnoperationen) allmählich andere Apparate compensirend eintreten und die ursprünglich verloren gegangene Function übernehmen, so werden offenbar unter Controle centripetaler Erregungen neue Wege eingeübt, d. h. individuell erworbene Eindrücke werden als dauernder

1) Allgemeiner Ausdruck für die den Gedächtnissvorgängen zu Grunde liegenden Nervenprocesse, der aber keine psychische Begleiterscheinung voraussetzt (1).

Besitz verwerthet, ohne dass etwas von diesen Einübungsvorgängen in's Bewusstsein kommt. Hier kann man einwenden, dass schon früher benutzte Bahnen nur während der Dauer der Reizerscheinungen vorübergehend ausser Gebrauch kamen. Da lehrt nun einwandsfrei die moderne Operation der Sehnenüberpflanzung [1]), dass ein ganz neues Stärkeverhältniss der Innervation von Extensoren und Flexoren im Unbewussten eingeübt werden kann, wobei z. B. das corticospinale Neuron für die Extension eine Verbindung mit dem spinomuskulären Neuron für die Flexion eingeht. Die Fähigkeit, „Erfahrung zu machen", ist also nicht an Bewusstsein gebunden, und aus der physiologisch constatirten Remanenz darf kein Schluss auf Bewusstheit gezogen werden [2]). Die psychologischen Begriffe haben eine strenge Berechtigung nur im Bereich der menschlichen Sinnesphysiologie und Psychologie, worin ich mit v. Uexküll (11) übereinstimme, und vor Allem sind sie als Erklärungsprincipien in der vergleichenden Physiologie zu vermeiden. Hingegen ist es unter diesem Vorbehalt unverfänglich und dem philosophischen Bedürfniss nach Continuität entsprechend, wenn man die Fähigkeit der Bewusstheit, ein virtuelles Bewusstsein und Sensorium nicht an einem scharf bestimmten Punkt der phyletischen Reihe, sondern mit der einfachsten belebten Form oder mit dem einfachsten Nervensystem beginnen lässt.

Beim Menschen wird es vielleicht einmal möglich sein, die Bedingungen des Hinzutretens der Bewusstheit zu einem genau definirten physiologischen Zustand (nach Qualität, Intensität und Extensität der Sensationen und Associationen) in grösserer Allgemeinheit zu formuliren, als dies in der Weber-Fechner'schen Formel schon geschehen ist. Heute besteht jedenfalls keine Berechtigung, das virtuelle Bewusstsein des Menschen mit einem bestimmten anatomischen Querschnitt beginnen zu lassen und es etwa dem Kleinhirn kategorisch abzusprechen. Dies Organ ist vielmehr in Folge seiner Grosshirnverbindungen in der Lage, sich an den zu Bewusst-

1) Verbindung der Sehne eines gelähmten Muskels mit gesunder Muskulatur des Antagonisten unter Wahrung der Zugrichtung des zu ersetzenden Muskels (Nicoladoni).

2) Die Remanenz (das objective Gedächtniss) ist gerade so unabhängig vom Bewusstsein wie die Intelligenz (s. o.). Das „unbewusste Denken" und die Intuition sind keine Ausnahmen, sondern die Norm. Weiter kann auf dies interessante Gebiet hier nicht eingegegangen werden.

seinserscheinungen führenden Associationsvorgängen auf's Innigste zu betheiligen. Vielleicht ist es auch fähig, für sich allein z. B. Schwindelgefühl zu erwecken. Es entspricht der oben skizzirten Auffassung des virtuellen Bewusstseins als allgemeiner Eigenschaft der belebten oder der nervösen Substanz, allen Theilen des menschlichen Nervensystems virtuelles Bewusstsein zuzuschreiben. Selbstverständlich könnte etwa das Sensorium des Rückenmarks nach Querdurchtrennung desselben mit dem Ichgefühl nicht mehr in associative Verbindung treten, d. h. nicht mehr zu innerer Wahrnehmung kommen. Das Beispiel zeigt, dass diese philosophisch vielleicht empfehlenswerthe Annahme unbeweisbar ist und zu physiologischen Constructionen keine Verwendung finden darf.

Hingegen liegt die Frage, inwieweit subcorticalen Apparaten die Fähigkeit der Remanenz zukommt, nicht ausserhalb des Bereiches der experimentellen Forschung. So könnte man an vorher grosshirnlos gemachten Thieren centrale Läsionen oder Sehnenüberpflanzungen vornehmen und beobachten, ob und wie die anfänglichen Ausfallserscheinungen compensirt werden (s. o.). Die Compensation wird vermuthlich eintreten, womit die Möglichkeit subcorticaler Remanenz bewiesen wäre, an der ja überhaupt kaum gezweifelt werden kann.

Wenn aber überhaupt für ein subcorticales Organ, so sind für das Kleinhirn die anatomischen Bedingungen zur Remanenz gegeben. Man darf daher den Ausspruch wagen, dass die Einübung complicirter Bewegungen zum Theil auf der Remanenz cerebellarer Reflexe beruht. Das Kleinhirn enthüllt sich uns dann als ein in erster Linie sensibler Apparat, bestimmt zur Aufnahme und Aufbewahrung mannigfaltiger sensibler Erregungen niederer Art und zu ihrer Verwerthung und Umschaltung auf motorische Bahnen. Neben der Form beeinflusst es in hohem Maasse die Stärke der motorischen Innervation. Daher Luciani's Asthenie und Ataxie nach Kleinhirnläsionen, daher die klinische Beobachtung von Paresen, die dem Herd gleichseitig sind, daher wohl auch die von Ewald hervorgehobene Wirkung des Nervus vestibularis auf den Muskeltonus.

Der Muskeltonus wird unter allen Umständen reflectorisch unterhalten. Nach Abtrennung des Rückenmarks vom Gehirn erzeugen die spinalen Centren schon für sich allein eine Hypertonie, die nach Durchschneidung hinterer Wurzeln erschlafft. Die tabische Ataxie und Hypotonie wird durch die Erkrankung der hinteren Wurzeln

und der Hinterstränge verursacht, denn die anderen aufsteigenden und die absteigenden Bahnen sind im Allgemeinen intact. An welchen motorischen Centren greift nun die Störung an? Wenn auch die Ableitung durch die kurzen spinalen Reflexbögen nicht unbetheiligt ist, so bleibt doch die Hauptfrage: Leidet vorzüglich die corticopetale Ausstrahlung der Hinterstrangkerne zur Thalamusschleife oder die Kleinhirnverbindung jener Kerne? Die trotz einzelner Unterschiede unverkennbare Aehnlichkeit der cerebellaren mit der tabischen Ataxie entscheidet zu Gunsten der vorzugsweisen Betheiligung des Kleinhirns. Da im Niveau der Oblongata hauptsächlich der Goll'sche Strang erkrankt ist, so trifft die Schuld für den Ausfall der cerebellopetalen Innervation die Systeme, die vom Nucleus gracilis zur Wurmrinde führen[1]). Die nächste Frage ist, ob sich die Innervationsstörung vom Kleinhirn vorzugsweise durch die Bindearme zum Grosshirn fortsetzt oder auf dem Wege der motorischen Cerebellarbahnen (s. o.) zum Rückenmark. Wir entscheiden uns für die letztere Annahme, weil die pathognomonische Hypotonie für eine Functionsstörung der subcorticalen Coordinationsbahnen spricht, als deren Hauptvertreter wir die vestibulo- und die rubrospinale Bahn kennen gelernt haben.

Wie ich früher zu begründen versucht habe (4), ist der Tonus der Vorderwurzelzellen abhängig von der arithmetischen Summe der ihnen auf der cortico-spinalen Pyramidenbahn und auf den subcorticalen Coordinationsbahnen zufliessenden Innervationsgrössen. Da nach Ausfall der Pyramidenbahn im Wesentlichen Hypertonie eintritt, muss mit ihr ein hemmendes Moment weggefallen sein, während der tonisirende Einfluss durch die subcorticalen Coordinationsbahnen repräsentirt ist. Ich nehme desshalb an, dass bei der Tabes die Ursprungskerne der subcorticalen Coordinationsbahnen, vorzüglich der Nucleus Deiters und der Nucleus ruber tegmenti, eine Einbusse an Innervation erleiden. Danach beruht die tabische Ataxie und Hypotonie auf einer centripetal bedingten Functionsstörung der motorischen Cerebellarbahnen. Die compensatorische Uebungsbehandlung der Tabes bahnt neue Wege, die von der vestibularen und der optischen Sinnesfläche direct oder über Grosshirn und Kleinhirn zu den subcorticalen Coordinationskernen führen. In dieser Anschauung liegt eine Versöhnung der sensiblen und der motorischen Theorie der tabischen Ataxie.

1) Vgl. Stscherbak's (9) Kleinhirn-Hinterstrangbahn.

Anmerkung bei der Correctur.

Bei intellectueller (bewusster oder unbewusster) Arbeit wird von der gesammten Energiemenge A, die zur Unterhaltung des physiologischen Vorgangs der Sensation und Association ausgelöst wird, ein Quantum i für peripherische Innervation aufgewandt, ein weiteres Quantum s bewirkt eine feinste structurelle Zustandsänderung des Nervensystems, wobei wahrscheinlich Wärme (w) frei wird. Von der Zustandsänderung wird ein Theil sofort wieder ausgeglichen durch Zuführung einer äquivalenten Energiemenge e; ein Theil bleibt als Substrat neu erworbener Dominanten, als Substrat der Remanenz. Die zur Herstellung dieser Dominanten nothwendig gewesene Energiemenge $d = s - e$; $s = d + e$. Möglicher Weise wird ausser den genannten Factoren noch ein weiteres Energiequantum frei (y), das in specieller Beziehung zum Bewusstseinsphänomen steht. Die Formel $A = i + w + e + d + y$ scheint auf alle Erregungsprocesse anwendbar.

„Intellectuell-reflectorische Anpassung" (S. 245) wäre das erste Glied einer Reihe mit den weiteren Gliedern: Functionelle Anpassung der Gewebe (z. B. Knochen) an Beanspruchungen und schliesslich: artenbildende Anpassung. Bei allen dreien ist eine Aussonderung des weniger Tauglichen im Spiel. Vergl. die Selection der zweckmässigen Bewegungsform S. 245 oben.

Schon bei einfachsten geistigen Processen wie der räumlichen Anschauung, spielt das „unbewusste Denken" seine Rolle (Helmholtz), indem es die Dimensionen der Raumwahrnehmung construirt. Ebenso bei allen anderen Denkvorgängen, von deren Ablauf um so weniger in's Bewusstsein kommt, je glatter und widerstandsloser er abrollt. Ein Grenzfall ist die Intuition.

Bewusst gewesene Sensationen werden besser reproducirt als unbewusste, weil Sensationen von solcher Beschaffenheit und Stärke, dass sie zum Bewusstsein kommen, sich fester dem Gedächtniss einprägen.

Literatur.

1) Beer, Bethe, v. Uexküll, Vorschläge zu einer objectivirenden Nomenclatur in der Physiologie des Nervensystems. Centralbl. f. Phys. Bd. 13 S. 6.

2) Kohnstamm, Ueber die Coordinationskerne des Hirnstammes und der absteigenden Spinalbahnen. Nach den Ergebnissen der vergl. Degenerations-

methode. Monatsschr. f. Psych. u. Neurol. 1900 u. Wandervers. südw. Neurol. u. Irrenärzte. Arch. f. Psych. 1899.

3) Kohnstamm, Ueber die gekreuzt aufsteigende Spinalbahn etc. Neurol. Centralbl. Bd. 19 S. 6. 1900.

4) Kohnstamm, Ueber Coordination, Tonus und Hemmung. Zeitschr. f. phys. u. diätet. Therapie Bd. 4 S. 2.

5) Lewandowsky, Ueber die Verrichtungen des Kleinhirns. Centralbl. f. Physiol. Bd. 15 S. 8.

6) Oppenheim, Ueber Brown-Séquard'sche Lähmung. Arch. f. Anat. u. Phys. Phys. Abth. Suppl.-Bd. 1899.

7) Reinke, Ueber die in den Organismen wirksamen Kräfte. Hamburger Naturforscher-Versammlung 1901. „Die Umschau" Bd. 5 S. 41. 1901.

8) Sherrington, The spinal cord. Schäfer's text book of physiology. London 1899.

9) Stscherbak, Ueber die Kleinhirn-Hinterstrangbahn und ihre physiologische und pathologische Bedeutung. Neurol. Centralbl. Bd. 19 S. 1090. 1900.

10) Thomas, Le cervelet. Paris 1897.

11) v. Uexküll, Vergl. sinnesphysiologische Untersuchungen. Zeitschr. f. Biologie Bd. 32.

12) Wallenberg, Das mediale Opticusbündel der Taube. Neurol. Centralbl. Bd. 17. 1898.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Wien.)

Wie schützt sich der Verdauungstract vor Verletzungen durch spitze Fremdkörper?

Von

Dr. **Alfred Exner,**
Operationszögling der II. chirurgischen Klinik in Wien.

Es ist eine auffallende Thatsache, dass so häufig spitze Fremdkörper den Darmtract von Menschen und Thieren passiren, ohne Schaden anzurichten. Die Gelegenheit zu Verletzungen der weichen Schleimhaut, zur Perforation der ganzen Darmwandung ist wiederholt gegeben, jedoch nur in einzelnen Fällen treten derartige Schädigungen ein. Ganze Thierspecies nehmen regelmässig in ihrer Nahrung Gegenstände zu sich, die geeignet scheinen, Verletzungen zu verursachen. Ich erinnere nur an gewisse Hühnerarten unter den Vögeln. So sah ich einmal den Kropf eines Auerhahnes prall gefüllt mit Föhrennadeln. Diese sind bekanntlich kaum weniger spitzig als Nähnadeln, aber keine hatte die Schleimhaut verletzt. Weiter wären zu erwähnen die Raubvögel und fleischfressenden Säugethiere, die ohne Schaden mit ihrer Nahrung spitze Knochensplitter verschlucken, oder Katzen und Fischottern, die Fische mit spitzen Gräten fressen. Auch beim Menschen beobachten wir bisweilen, dass verschluckte Nadeln oder andere spitze Gegenstände ohne Anstand den Darmtract passiren. Es erscheint auf den ersten Blick unwahrscheinlich, dass — sagen wir — eine Nadel den langen Darm eines Menschen passiren kann, ohne die Wand zu durchbohren oder wenigstens wiederholt Gefässe der Schleimhaut zu verletzen und auf diese Weise grössere Blutverluste zu erzeugen. Da Thiere und Menschen ihren Verdauungstract derartigen Insulten häufig aussetzen, theilweise aussetzen müssen, lag es nahe, zu vermuthen, dass bei der relativen Seltenheit von Verletzungen des Darmtractes durch spitze Gegenstände eine schützende Organisation existire, deren Aufgabe darin besteht, verschluckte Fremdkörper, falls sie

nicht durch die auflösende Wirkung der Verdauungssäfte unschädlich gemacht werden, ohne Schädigung der Schleimhaut durch den ganzen Verdauungstract zu bringen. Ich stellte mir nun die Aufgabe, zu ermitteln, ob und in welcher Weise die Schleimhaut auf Reize durch spitze Fremdkörper reagire, und wie dieselbe sich vor den genannten Gefahren schützt.

Ich will vorgreifen und hier gleich in Kürze die Resultate meiner Untersuchungen zusammenfassen. Berührt man die Schleimhaut des Magens oder Dünndarms bei Hunden und Katzen wiederholt an derselben Stelle mit einer Nadel, so bilden sich anämische Stellen und Einziehungen der Schleimhaut am Ort der mechanischen Reizung. Diese Erscheinungen beruhen auf Contraction der Muscularis mucosae, verstärkt im Magen und Darm durch Contraction der zwischen die Drüsen aufsteigenden Muskelbündel, im Dünndarm ausserdem noch durch Contraction der Zottenmuskulatur. Bei Thieren, denen Glassplitter in den Magen und Darm gebracht wurden, finden sich diese in so gebildeten Buchten der Schleimhaut. Magen und Darm der Thiere pflegen Stecknadeln, die mit dem spitzen Ende voraus eingeführt wurden, umzudrehen, so dass die Nadeln mit dem stumpfen Ende voraus, also ohne schädigende Wirkung, durch den Verdauungstract wandern.

Nach dieser kurzen Zusammenfassung gehe ich zur Beschreibung meiner Versuche über.

Reizungsversuche am Darm.

Meine ersten Versuche sollten feststellen, ob an dem lebenden Darm und Magen von Thieren irgend etwas zu sehen sei, wenn man die Schleimhaut durch Berührung mit spitzen Gegenständen reizt. An zwei Hunden und fünf Katzen wurde in der Narkose das Peritoneum in grosser Ausdehnung eröffnet und eine Schlinge des Dünndarms der Länge nach aufgeschnitten. Bei einigen Experimenten wurde die Schleimhaut während der Beobachtung mit physiologischer Kochsalzlösung bespült. Die einfachsten Versuche bestanden darin, dass ich mit einer Nadel, deren Spitze abgeschliffen war, leise über die Schleimhaut strich, so dass etwa 1 bis 2 cm lange Striche gegemacht wurden, ohne dabei eine Läsion zu verursachen. Man beobachtet dabei schon wenige Secunden nach der Reizung, dass die früher intensiv roth gefärbte Schleimhaut anämisch wird. Die Anämie

stellt sich zuerst an der Stelle der Reizung ein und schreitet von dort nach allen Seiten ca. 2 mm weit fort, so dass, wurde ein 1 cm langer Strich über die Schleimhaut geführt, nach einigen Secunden ein ungefähr 4 mm breiter und 14 mm langer anämischer Schleimhautbezirk entstand. Diese Anämie hält etwa eine halbe bis zwei Minuten an und ist besonders schön am Darm des fastenden Hundes bald nach Eröffnung desselben zu sehen. Die geeignetste Stelle für derartige Beobachtungen ist das Duodenum. Zugleich mit dem Auftreten dieses anämischen Bezirkes beobachtet man Folgendes: Die normale Schleimhaut hat ein sammtartiges Aussehen; sofort nach der Reizung sieht man in der Schleimhaut eine flimmernde Bewegung ablaufen, und zwar in dem Bezirk, der zugleich anämisch wird. Von einer Richtung der Bewegung kann man nicht sprechen; es ist dies ein eigenthümliches Wogen, das nur wenige Secunden anhält. Während dieser Bewegung entsteht die Anämie, und in dem gereizten Bezirk verliert die Schleimhaut ihren sammtartigen Charakter und bekommt ein granulirtes Aussehen. In dieser Zeit hat sich ausserdem die gereizte Stelle etwas eingezogen, so dass entsprechend dem Strich mit der Nadel eine flache Rinne in dem anämischen Bezirk entstanden ist, die zugleich mit dem Aufhören der Anämie wieder verschwindet. Dass es einen Unterschied bedingt, ob man den Strich mit der Nadel in der Längsachse des Darmes oder senkrecht auf diese macht, konnte ich nicht beobachten. Schon Brücke[1]) hat die Bewegung in der Schleimhaut gesehen, er schreibt: „Wenn man . . . mit einer kleinen, geknöpften Sonde leise, aber rasch über die Schleimhaut streicht, so sieht man die berührte Stelle langsam einsinken und granulirt werden, und man kann sich mittelst der Lupe leicht überzeugen, dass diese Veränderung von Verkürzung und Verdickung der Zotten herrührt." Dass Brücke das Auftreten der Anämie nicht sah, mag darin seinen Grund haben, dass er an Thieren experimentirte, denen der Darm schon 20 bis 30 Minuten vorher geöffnet worden war. So konnte auch ich wiederholt beobachten, dass die geschilderten Versuche misslangen, wenn der Darm der Thiere schon längere Zeit frei an der Luft gelegen war. Reizt man die Schleimhaut statt durch einen Strich mit der Nadel

---

1) E. Brücke, Das Muskelsystem der Schleimhaut des Magens und Darmcanals. Citirt nach einem Separatabdruck. Vergleiche auch Sitzungsberichte der Wiener Akademie der Wissenschaften Bd. 6 S. 214. 1851.

nun durch einen Stich, so tritt nur ein anämischer Kreis auf, der eine granulirte Oberfläche hat, und dessen Mitte vertieft ist. Man kann sich leicht durch Streichen mit dem Finger überzeugen, dass die Stellen der Reizung sich härter anfühlen als die umgebende Schleimhaut. Nicht immer bildeten sich diese Veränderungen schon nach einer Berührung mit der Nadel aus, jedoch konnte ich wenigstens am frisch geöffneten Dünndarm der Thiere nach wiederholten Stichen mit der Nadel constant das Auftreten des anämischen Bezirkes sehen. Wurden mehrere Stiche gegen die Schleimhaut geführt, so achtete ich darauf, keine Läsion der Schleimhaut zu verursachen, also Blutungen zu vermeiden. Ferner wurden die Reizungen derart ausgeführt, dass alle Berührungen der Schleimhaut in einen Kreis von ca. 3 bis 5 mm Durchmesser fielen. Das Erste, was man nach einer derartigen Reizung der Schleimhaut sieht, ist das Entstehen eines anämischen Hofes um die gereizte Stelle mit einem Durchmesser von $1/2$ bis 1 cm. Die Schleimhaut wird an dieser Stelle blass, und zwar sieht man dies schon ganz kurze Zeit nach Beginn der Reizung. Einige Zeitbestimmungen mit der Stopuhr ergaben, dass die Anämie schon 3 bis 10 Secunden nach diesem Beginnen auftrat. Streicht man leise mit einem rauhen Tuch über einen grösseren Theil der Schleimhaut, so kann man in analoger Weise das Entstehen der Anämie an der gereizten Stelle beobachten; auch durch derartige Reizung verliert die Schleimhaut ihren sammtartigen Charakter und bekommt eine granulirte Oberfläche.

Bis hierher stimmen meine Beobachtungen mit den, wie es scheint, in Vergessenheit gerathenen Beobachtungen Brücke's überein. Allerdings sah dieser das Auftreten der Anämie nicht, da er nach seiner eigenen Angabe zu einer Zeit beobachtete, wo sich bereits Stase ausgebildet hatte. Die bisher geschilderten Vorgänge sind, wie dies auch Brücke annahm, durch Contraction der Zotten zu erklären. Die Untersuchungen des genannten Forschers sind aber durch folgende wesentliche Erscheinungen zu ergänzen.

Kurze Zeit nach dem Entstehen des anämischen Hofes beobachtet man das Auftreten einer seichten Einziehung, die tiefer ist, als dies durch Contraction der Zotten möglich wäre. Diese Delle hat einen Durchmesser von 0,3 bis 1 cm; ihr Mittelpunkt entspricht der gereizten Stelle. Sie entsteht, wie einige Messungen ergaben, 10 bis 15 Secunden nach dem Beginn der Reizung und liegt annähernd in der Mitte des anämischen Hofes. An der von Serosa über-

kleideten Aussenseite des Darmes ist von diesen Formationsveränderungen für gewöhnlich nichts zu sehen; nur an einer jungen Katze bemerkte ich zwei Mal unter zahlreichen Reizungen, dass nach dieser Dellenbildung auch an der Serosaseite des Darmes eine flache Vorwölbung entstanden war, wobei ich mich jedoch nicht überzeugen konnte, ob die eigentliche Muscularis des Darmes selbst contrahirt war oder nur durch die gebildete Delle vorgewölbt wurde. Bei der Zartheit des jugendlichen Darmes war eine Entscheidung unmöglich. Wie hieraus zu entnehmen ist, spielt sich die Dellenbildung in der Schleimhaut ab. An der Aussenseite des Darmes, jedoch nicht an der Stelle, die der Delle entspricht, sondern in der Nähe der Delle, einen halben bis einen ganzen Centimeter von ihr entfernt, bemerkte ich öfters das Entstehen einer Einschnürung, die sich über einen kleinen Theil der Darmcircumferenz erstreckte. Diese Einschnürungen waren durch Contraction der Ring-Muskelschicht der äusseren Muskelhaut bedingt und hatten mit dem Entstehen der Dellen nichts zu thun. Ich hatte den Eindruck, dass die Reizung der Schleimhaut auf die tonischen Zustände der äusseren Muskellagen in diesen Fällen nicht ohne Einfluss blieb. Manchmal sieht man, dass die äussere Umgrenzung der Delle von einem niedrigen schmalen Wall circulär umgeben ist, so dass im Durchschnitt durch eine derartige Delle auf die in einer Ebene liegende Schleimhaut erst ein Hügel, hierauf eine Vertiefung (Delle), dann nochmals ein Hügel und endlich wieder die glatte Schleimhaut folgt.

Wiederholt gelang es mir, zu constatiren, dass der vorhin geschilderte Wall in der Schleimhaut härter anzufühlen war, und auch beim Darüberstreichen mit einer Nadel konnte ich mich davon überzeugen, dass der Wall härter war als die angrenzende und die in der Tiefe der Delle liegende Schleimhaut.

Nicht immer entstehen nach Berührung mit einer stumpfen Nadel so regelmässige Figuren. Ich will vor Allem erwähnen, dass ich mehrmals beobachtete, dass an Stelle der Einziehung eine leichte Vorwölbung an dem Ort der Reizung entstand. Durch mehrere Versuche liess sich jedoch zeigen, dass diese Vorwölbung nur dann auftrat, wenn der Darm nach dem Aufschneiden in seiner Längsrichtung so lag, dass er mit seiner Schleimhaut nicht nach innen concav war, wie es der normalen Lage entspricht, sondern so, dass die Schleimhaut eine convexe Krümmung zeigte.

Viel unregelmässiger gestalteten sich aber die Veränderungen

nach Reizung der Schleimhaut durch Berührung mit einer Nadel, wenn die gereizte Stelle in den Bereich einer der zahlreichen Schleimhaut-Falten fiel. Das Auftreten des anämischen Hofes war allerdings etwas Constantes, hingegen wurde das Auftreten der gleichmässigen runden Dellen durch die bestehenden Falten gestört. Fällt die Stelle der Reizung in die Nähe oder auf einen der Faltenberge selbst, so sieht man das Entstehen einer schwachen Einziehung wieder, doch grenzt sich diese Delle jetzt nicht scharf gegen die Umgebung ab, sondern es ziehen radiär gegen den Mittelpunkt der Einziehung viele kleine Schleimhaut-Falten. Oder die Stelle der Reizung fällt in die Nähe der Verlängerung eines Faltenthales, dann setzt sich die schon vorher bestandene Falte bis zur Reizungsstelle und darüber hinaus fort. Die beschriebenen Veränderungen traten ganz langsam auf, blieben eine Weile unverändert und verschwanden allmählich wieder, einigen Messungen zufolge nach dem Verlauf von einer halben bis einer Minute.

Ich muss hier erwähnen, dass ich die Anämie an den gereizten Stellen constant auftreten sah; sie entstand immer, wenn nicht nach dem ersten Stich gegen die Schleimhaut, so doch nach wiederholten; hingegen konnte ich manchmal die beschriebenen Gestaltveränderungen nicht sehen, oder es traten zwar Dellen auf, aber ich konnte mich nicht davon überzeugen, ob sie nicht etwa durch passive Verzerrung der Weichtheile in Folge der Nadelstiche entstanden waren. Ich komme auf diesen Punkt nochmals zurück.

Die beschriebenen Beobachtungen sind alle am Dünndarm der Thiere angestellt. Am Dickdarm sah ich nur einige Male ähnliche Veränderungen nach Berührung mit einer stumpfen Nadel. Wenn hier die Erscheinungen nicht so deutlich sind, mag das wohl daher rühren, dass der Koth der Dickdarm-Schleimhaut häufig fest anhaftet und sich meist nur mechanisch entfernen lässt, was ohne Reizung der Schleimhaut wohl kaum möglich ist; darunter mag die Feinheit der Reaction leiden.

Reizungsversuche am Magen.

Am Magen liess sich bei Reizung durch Berühren mit einer stumpfen Nadel nachweisen, dass wieder in der Schleimhaut anämische Höfe um die Reizungsstellen auftraten, deren rundliche Ausdehnung jedoch nur dann deutlich zu erkennen war, wenn die Schleimhaut an dieser Stelle ziemlich faltenlos war. Fällt die Reizungsstelle, wie

es bei der so faltenreichen Magen-Schleimhaut häufig geschieht, in den Bereich der Falten, so lässt sich die Form des anämischen Hofes nicht deutlich erkennen. Es schien mir, dass der Durchmesser des anämischen Bezirkes in der Magen-Schleimhaut grösser sei als in der des Dünndarms, doch handelte es sich, wenn es hoch kam, um den Unterschied von einem oder zwei Millimeter. Nach dem Auftreten des anämischen Hofes, der ersten sichtbaren Veränderung nach dem Reiz, beobachtet man wieder, wie im Dünndarm, das Entstehen von kleinen Einziehungen in der Schleimhaut, deren Mittelpunkt der Reizstelle entspricht. Nach einiger Zeit verschwand die Delle wieder. An der Serosaseite des Magens war nichts wahrzunehmen. Nur wenn die gereizte Schleimhaut faltenfrei war, entstanden derartige regelmässig geformte Veränderungen. In der Mehrzahl der Versuche drangen jedoch die durch den Reiz bedingten Veränderungen in das Bereich von Falten, so dass das Bild der Dellenbildung verwischt wurde. Reizt man z. B. auf der Höhe eines Faltenberges, so kann man sehen, wie sich senkrecht auf den Verlauf der präformirten Falte ein neues quergestelltes Faltenthal bildet. Reizte ich in der Nähe des Endes eines Faltenthales, so verlängerte sich das Faltenthal bis zur Reizungsstelle und über dieselbe hinaus.

Der Magen sowohl der Hunde wie der Katzen hat ein sehr reichliches Faltennetz, in dem jedoch die längs verlaufenden Falten entschieden in ihrer Länge überwiegen, während die Querfalten meist kurz und nur von einer bis zur anderen Längsfalte zu verfolgen sind. Berührt man nun — dies gelingt besonders schön am Magen der Katze — eine der kurzen Querfalten in ihrem ganzen Verlauf wiederholt mit der Nadelspitze, so gelingt es, die Falte gänzlich auszugleichen. Jedoch eine ganze Längsfalte zum Verschwinden zu bringen, gelang mir nie; wohl war es möglich, durch die Reizung den Verlauf auch einer solchen Falte zu unterbrechen.

Will man das Verschwinden der Falten durch Muskeleinwirkung erklären, so kann nur an die Muscularis mucosae gedacht werden, da in den Falten der Magen-Schleimhaut nur deren Muskelfasern verlaufen.

Weitere Reizungsversuche an der Magen- und Darm-Schleimhaut.

Um ungestört durch die bei Luftzutritt auftretende lebhafte Peristaltik der Därme beobachten zu können, wurden die Versuche

noch an zwei weiteren Hunden und einer Katze im Kochsalzbad (0,7 %) bei der Temperatur von 37° gemacht. Die Thiere wurden in Narkose wie gewöhnlich aufgebunden und sammt dem Operationsbrett in die Wanne gebracht, so dass nur der Kopf ausser Wasser war. Um die Störung in der Beobachtung durch die von Blut und Darminhalt herrührende Trübung auszuschliessen, wurde die Stelle, an der ich beobachtete, durch klare warme Kochsalzlösung bespült. Die weiter mitgetheilten Versuche beziehen sich in gleicher Weise auf die Thiere im Kochsalzbad wie auf die vorher genannten.

Die Reizungsversuche mit der Nadelspitze verliefen bei den Thieren im Kochsalzbad genau ebenso wie bei den früher erwähnten. Nachdem ich mich von dem Bestehen dieser Reaction auf die Reizung überzeugt hatte, wendete ich Ströme eines Schlitteninductoriums zur Reizung an. Die Elektroden, deren Abstand 1 bis 3 mm betrug, wurden an der Innenseite des aufgeschnittenen Darmes oder Magens angelegt. Der Effect der elektrischen Reizung war der gleiche wie der der mechanischen; es traten wieder zuerst die anämischen Stellen in der Schleimhaut auf, und hierauf entwickelten sich die früher beschriebenen Veränderungen in der Formation. — Es hatte sich also gezeigt, dass in der Schleimhaut des Dünndarmes und des Magens durch mechanische und elektrische Reizung constante Veränderungen erzeugt werden können. Um in einwandfreier Weise entscheiden zu können, ob die äussere Ring- und Längsmuskulatur an den beobachteten Veränderungen nicht betheiligt sei, führte ich dieselben Versuche am Magen und Dünndarm des Thieres aus, nachdem ich die Schleimhaut von der seromuskulären Schicht getrennt hatte. Es gelingt diese Trennung leicht am Magen der genannten Thierarten, am Darm schwerer. Ich konnte mir jedoch meist ein zur Beobachtung genügend grosses Stück Schleimhaut freipräpariren. Man schädigt dadurch allerdings die Circulation. Reizt man durch Nadelstiche oder schwache faradische Ströme, so sieht man auch an der isolirten Magen-Schleimhaut das Entstehen von Dellen, die sich weder durch Darüberstreichen noch durch den Versuch, sie auszustülpen, verwischen lassen. Die Anämie war in der Schleimhaut des Magens nach Reizung auch bei diesen Versuchen wiederholt zu beobachten; in der Darm Schleimhaut sah ich sie nicht. Auch die Dellenbildung war in der abpräparirten Darm-Schleimhaut nicht so schön zu sehen; es mag das mit darin seinen Grund haben, dass man beim Darm nicht ohne Schädigung die Schleimhaut von der ziemlich fest verwachsenen Muscularis trennen kann.

Um mich zu überzeugen, dass bei meinen Versuchen die Schleimhaut von der Muscularis zu trennen, nicht etwa die innere Muskelschicht an der Schleimhaut verblieben war, wurde ein Stück der abpräparirten Magen-Schleimhaut einer Katze, an dem die Dellenbildung und die Anämie sehr schön zu sehen gewesen war, in Formalin gehärtet. An den angefertigten mikroskopischen Schnitten überzeugte ich mich, dass in dem Präparat nur die Schleimhaut mit der Muscularis mucosae vorhanden war; von der Muskulatur der äusseren Lagen war nichts zu sehen. Es ist das ein neuer Beweis dafür, dass bei den beschriebenen Formationsveränderungen nicht die äusseren Muskelschichten, sondern die Muscularis mucosae mit ihren Adnexen, das ist im Dünndarm die Zottenmuskulatur, im Magen und Darm die zwischen den Drüsen aufsteigenden Muskelbündel betheiligt sind. Ich möchte hier erwähnen, dass ich Dellenbildung im Darm auch an dem durch Chloroformnarkose unmittelbar vorher getödteten Thier beobachten konnte; ja, auch am Darm, der aus dem frisch getödteten Thier herausgeschnitten war, liessen sich die beschriebenen Formveränderungen sehen, ein Beweis, dass die erwähnten Veränderungen auch ohne den Einfluss des Centralnervensystems ablaufen, und dass, falls eine nervöse Regelung der genannten Vorgänge existirt, dieselbe in den Ganglien des Darmes oder Magens selbst abläuft. Am eröffneten Oesophagus der Thiere konnte ich durch die beiden Reizungsarten nichts nachweisen.

In der Hoffnung, mich durch mikroskopische Untersuchung über die Art und Weise des Zustandekommens der beschriebenen Veränderungen zu orientiren, schnitt ich zwei Mal eine gut ausgeprägte Delle aus dem lebenden Darm heraus und legte sie rasch in 4 %ige Formalinlösung. Nach Härtung der Präparate wurden Schnitte angefertigt und gefärbt. Es gelang mir, wie zu erwarten war, nicht, irgend welche Unterschiede in dem gereizten Darmantheil zu beobachten. Die einzelnen Muskelschichten waren an diesen Stellen in ihrer Dicke unverändert, die Darmzotten gleich lang, die Schleimhaut nicht gefaltet. Allerdings waren nach der Härtung der Stücke auch die Dellen nicht mehr zu sehen gewesen.

Reizungsversuche an Tauben, Fröschen und einer Schildkröte.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen stellte ich an drei Tauben folgenden Versuch an. Ich eröffnete den Kropf der narko-

tisirten Thiere und reizte durch einmalige oder wiederholte Berührung mit einer stumpfen Nadel eine Stelle der Schleimhaut. Das Entstehen der Anämie am Ort der Reizung konnte ich nie beobachten. Auch Formationsveränderungen, die den an Säugethieren beobachteten entsprochen hätten, fehlten. Elektrische Reizung erzielte ebenfalls keine Veränderungen, die sich auf eine Contraction der Muscularis mucosae allein beziehen liessen.

Um bequemeres Untersuchungsmaterial zu haben, machte ich am Magen und Darm einer Schildkröte und am Magen von fünf Fröschen die analogen Versuche wie am Säugethier. Das Auftreten von anämischen Stellen in der Schleimhaut konnte ich nie beobachten. Das Aussehen der Schleimhaut blieb stets unverändert. Elektrische Reizung brachte niemals die beschriebenen Formveränderungen zu Stande. Es bewirkten zwar wiederholte Stiche regelmässig Einziehungen, jedoch konnte ich den an Katzen und Hunden beobachteten Randwulst niemals sehen, auch liessen sich die Einziehungen durch Darüberstreichen fast vollständig ausgleichen. Wie ich mich dann durch Vergleich mit Mägen von Fröschen, die drei Tage vorher durch Zerstörung des Gehirns und Rückenmarkes getödtet worden waren, überzeugte, handelte es sich hier lediglich um mechanische Impressionen.

Zusammenfassung der Erscheinungen und ihre Deutung.

Fassen wir das bisher Gesagte zusammen, so hat sich gezeigt, dass erstens durch mechanische Reizung mit einer stumpfen Nadel oder mit schwachem faradischem Strome an der Schleimhaut vom Magen und Dünndarm bei Hund und Katze am Ort der Reizung Einziehungen entstehen, die häufig von einem vorgebuchteten Wall begrenzt und wie ihre allernächste Umgebung anämisch sind. Zweitens, dass diese Einziehungen auch auftreten, wenn die Schleimhaut von der seromuskulären Schicht getrennt ist. Es geht daraus hervor, dass die beschriebenen Veränderungen ihre Ursache nur in der Schleimhaut mit ihrer Muscularis mucosae haben und unabhängig von der seromuskulären Schicht entstehen. Als Effect einer Muskelcontraction muss die Erscheinung aufgefasst werden, weil am Ort der Reizung häufig um die rundliche Delle, deren Entstehung man sich ja auch durch mechanische Einstülpung verursacht denken könnte, ein flacher Wulst entsteht. Es gelingt auch nicht, die gebildeten Grübchen

zum Verschwinden zu bringen, wohl aber lassen sie sich bisweilen einstülpen. Auch an der von den äusseren Muskelschichten abpräparirten Schleimhaut sind die entstandenen Dellen durch derartige Versuche nicht auszugleichen.

Wenn ich nun an die Deutung der beschriebenen Phänomene gehen soll, so wäre wie gesagt als Grundlage die Muskulatur der Schleimhaut in Betracht zu ziehen. Der zeitliche Ablauf der Erscheinungen stimmt mit den Zeitverhältnissen der Contraction glatter Muskeln. Die Hauptmasse dieses Muskelsystems wird durch die aussen gelegene Längsfaserschicht und die weiter innen liegende Ringfaser-Schicht der Muscularis mucosae gebildet; dazu kommen jedoch im Magen und Darm Muskelbündel, die, innerhalb der Ringfaser-Schicht liegend, zwischen den Drüsen gegen die Oberfläche der Schleimhaut ziehen. Bereits Brücke[1]) beschrieb diese Faserzüge, auch war er der Erste, der in den Darmzotten des Dünndarmes das Vorhandensein von Bündeln glatter Muskulatur constatirte. In den Zotten findet sich nämlich constant, nach innen von der Schicht der Capillargefässe, eine Anzahl von Längsbündeln, die bis an das äusserste Ende der Zotten reichen[2]). Diese Muskelbündel treten auch mit der eigentlichen Muscularis mucosae in Verbindung. In aller Kürze geschildert wären dieses die contractilen Elemente, die als Ursache der beschriebenen Gestaltsveränderungen zu betrachten wären, und die Contraction dieser Muskelbündel wäre auch wohl im Stande, die in Frage kommenden Erscheinungen zu erklären.

Die Anämie käme danach im Magen und Darm durch Contraction der Muskelbündel zu Stande, die von den Ringfasern der Muscularis mucosae in der Schleimhaut gegen das Epithel aufsteigen. Contrahiren sich diese Muskelbündel, so müssen sie die Schleimhaut und die in ihr liegenden Gefässe comprimiren und dadurch eine Anämie erzeugen. Im Dünndarm kommt als zweiter wichtiger Factor für die Erzeugung der Anämie die Muskeln der Zotten selbst hinzu. Contrahiren sich diese Fasern, so verkürzt sich die ganze Zotte, und auch ihr Blut muss aus den Gefässen ausgedrückt werden. Bei der Entstehung der Anämie dürfte ferner sowohl im Darm als im Magen die active Contraction der Gefässe eine wichtige Rolle spielen. Ich

---

1) l. c. S. 3.

2) Man vergleiche auch Kölliker's Handbuch der Gewebelehre Bd. 3 S. 168 u. 175. 1899.

denke an die bekannten hellen Striemen, welche unter Umständen am Handrücken eines Menschen zurückbleiben, wenn man mit dem Nagel über denselben gefahren ist.

Die Formveränderungen an der inneren Oberfläche sind bedingt durch Contraction der Muscularis mucosae selbst und auch der anderen kleineren Muskelbündel. Das Verschwinden eines Faltenberges und das Entstehen von Vorwölbungen unter gewissen Umständen sind durch Contraction der aus einer Längs- und einer Ringfaser-Schicht bestehenden Muscularis mucosae leicht zu erklären. Nehmen wir z. B. an, die auf einem Faltenberg senkrecht verlaufende Muskelschicht contrahirt sich, so muss die Erhebung ausgeglichen werden. Entstehen, wie dies am Darm, dessen Schleimhaut nach innen convex war, öfters beobachtet wurde, Vorwölbungen, so ist dies durch Contraction der Muscularis mucosae ebenfalls leicht zu erklären. Die Muskulatur liegt dann eben in der Sehne eines Kreisbogens; verkürzt sie sich, so muss sich die vom Mittelpunkt des Kreises weiter entfernt liegende Schleimhaut, da sie nun auf eine kürzere Strecke vertheilt wird, vorwölben. Die Entstehung der Dellen jedoch und das Fortschreiten oder Neuauftreten eines Faltenthales lassen sich in dieser einfachen Weise nicht erklären. Da gibt der Randwulst, der als Grenze der Delle bemerkt wurde, einen Fingerzeig. Nimmt man an, dass am Punkt der Reizung sich die Muscularis mucosae zuerst contrahirt, dass von da aus eine Contractionswelle circulär in die Umgebung fortschreitet und in einer gewissen Entfernung von der Reizstelle Halt macht, während an der gereizten Stelle wieder Erschlaffung eingetreten ist, so ist die Entstehung der Randwülste erklärt. Ist dieser Wall aber durch contrahirte Muskulatur bedingt, so ist es klar, dass innerhalb des Ringes die Schleimhaut ein Grübchen bilden muss. Den beschriebenen Wall als Ring contrahirter Muskelfasern aufzufassen, halte ich für gerechtfertigt, da er hart anzufühlen ist. Obwohl nicht regelmässig für das freie Auge sichtbar, wird er stets doch vorhanden sein und lässt sich auch oft in Fällen, wo man ihn nicht sehen kann, durch das Tastgefühl nachweisen. Ob innerhalb des Contractionsringes die Muskulatur mehr oder weniger erschlafft ist, wird ausschlaggebend sein für die Deutlichkeit der Wulstbildung und der Delle, wobei ich bemerken muss, dass ich ein radiäres Fortschreiten der Contraction von der Reizstelle nicht wirklich gesehen habe, sondern nur vermuthe; es ist aber nicht ausgeschlossen, dass die Reizung eines Punktes *eine*

Contraction der Muscularis mucosae auf die Distanz von einigen Millimeter bewirkt und dadurch der Ringwulst sofort an seinem Orte zu Stande kommt. Dass eine solche Erklärung der Dellenbildung gegen mechanische Gesetze nicht verstösst, lässt sich durch folgenden einfachen Versuch nachweisen. Man malt auf ein Stückchen glatte, feine Leinwand mit dicker Celloidinlösung einen Kreis von einem bis zwei Centimeter Durchmesser und wartet, bis die Celloidinlösung zu trocknen beginnt. Der Celloidinring zieht sich beim Trocknen zusammen und bildet einen Wulst, während der von Celloidin freie Leinwandkreis in der Mitte des Ringes entweder eine Delle oder eine Vorwölbung bildet; dies hängt von accessorischen Kräften ab. Wie man sieht, bildet der Versuch eine Analogie zu den Vorgängen in der Schleimhaut. Auch bei diesen Gestaltsveränderungen spielen ausser der eigentlichen Muscularis mucosae die anderen kleinen Muskelzüge mit. Durch die Contraction der Zottenmuskulatur bekommt die Darm-Schleimhaut ihr granulirtes Aussehen, die Zotten werden kürzer und dicker, und dadurch sinkt diese Stelle der Schleimhaut etwas ein. Auch die zur Oberfläche aufsteigenden Muskelbündel tragen durch ihre Contraction im Magen und im Darm zum Dünnerwerden der Schleimhaut bei und können wohl auch bei der Ausgleichung eines Faltenberges mithelfen. Das eigenthümliche lederartige Aussehen der Magen-Schleimhaut[1]) da, wo ihr Glassplitter anlagen, wird auch durch Contraction eben dieser Muskelbündel zu erklären sein.

Die geschilderten Versuche haben uns zwei Vorgänge kennen gelehrt, deren Zweckmässigkeit für die Vermeidung von Schädigungen der Schleimhaut durch spitze Fremdkörper klar ist. Das Auftreten des anämischen Hofes wird bei eventuell entstandenen Läsionen wenigstens zunächst, Blutungen auf ein geringes Maass reduciren; durch die Dellenbildung schützt sich die Schleimhaut vor Verletzungen, indem sie vor dem spitzen Fremdkörper zurückweicht. Der Muscularis mucosae mit ihren Adnexen käme danach im Magen-Darmtract die wichtige Aufgabe zu, die Schleimhaut vor Verletzungen durch spitze Gegenstände zu bewahren und, falls eine Schleimhaut-Läsion entstanden ist, die Blutung zu beschränken.

---

1) Der Versuch ist in dem nächsten Abschnitt genauer beschrieben.

Fütterungsversuche mit spitzen Fremdkörpern.

Um mir von der Art und Weise, wie spitze und scharfe Fremdkörper den Magen-Darmtract passiren, ein Bild zu verschaffen, wurden Glassplitter in Gelatinekapseln gefüllt und meist narkotisirten Thieren durch einen eingeführten Schlauch in den Magen gebracht. Die Splitter hatte ich mir durch Zerstossen von Glasscherben erzeugt, von denen nur die länglichen, scharfkantigen und spitzen verwendet wurden. Die Länge schwankte zwischen 3 und 7 mm. Der Versuch wurde zunächst an zwei Katzen gemacht. Das erste Thier wurde $3^1/_2$ Stunden nach Einführung in der Narkose untersucht. Der Magen fand sich voll Speisen und im Speisebrei an einzelnen Stellen die durch die zerfliessende Gelatine noch etwas zusammengeballten Massen von Glassplittern. Wo ein solcher der Magenwand anlag, wie dies an mehreren Stellen der Fall war, zeigte sich Folgendes. Die Magen-Schleimhaut der Katze besitzt im normalen Zustand ein ziemlich ausgeprägtes Netz von Falten. Diese normale Faltenbildung war an den besprochenen Stellen total verwischt, von den ursprünglichen Falten war keine mehr erhalten, und in dieser Fläche zeigten sich Vertiefungen, die wie Abdrücke der thatsächlich in ihnen liegenden Glasstückchen aussahen. Ausserdem war der ganze Schleimhaut-Bezirk, dem die Glasstückchen anlagen, hochgradig anämisch, während die Theile der Magen-Schleimhaut, die mit Glas nicht in Berührung gekommen waren, die normale Farbe beibehalten hatten. Die eigenthümliche Succulenz der Schleimhaut war verloren; es schien fast, als wäre sie trockener, jedenfalls dünner, und erinnerte an das Aussehen einer atrophischen, runzeligen Cutis oder eines rauhen Leders. Eine Läsion der Magen-Schleimhaut durch einen der vielen Splitter liess sich nicht nachweisen. In den Darm des Thieres waren noch keine Glasstückchen übergetreten.

Die zweite Katze wurde 23 Stunden nach der Einverleibung der Glassplitter durch Chloroform getödtet; im Magen und Darm fanden sich kaum Speisereste; in ersterem waren nur mehr wenige, ganz kleine Splitter vorhanden. Die normale Faltenbildung fehlte stellenweise, die Schleimhaut war an diesen Stellen fast glatt, so dass es mir schien, diese Bezirke hätte nach ihrer Formationsveränderung durch die Glassplitter ihre normale Gestalt noch nicht wieder ganz erreicht. Im Dünndarm fanden sich zahlreiche Glasstückchen, die fast alle in Schleimhaut-Vertiefungen lagen; die meisten

lagen im Dickdarm des Thieres, und zwar auch in Schleimhaut-Buchten. Bloss im Magen fand ich eine Spur Blut, im ganzen Darm fehlte jede Läsion. Ueber die Anämie kann ich nichts aussagen, da die Section aus äusseren Gründen erst eine Stunde nach der Tödtung gemacht wurde. Das erste Thier schien vorher vollkommen gesund, das zweite kränklich; bei der Section zeigte sich eine beginnende Pneumonie. An der Serosaseite war bei beiden Thieren nichts Abnormes zu sehen gewesen.

Zwei Tauben, denen ebenfalls in Gelatinekapseln Glassplitter eingeführt worden waren, untersuchte ich fünf Stunden nachher. Bei beiden war der Kropf mit Körnern gefüllt und die Glassplitter theilweise noch durch die zerfliessende Gelatine zusammengehalten. Wo diese in grossen Massen der Schleimhaut anlagen, war nichts Besonderes zu sehen, einzelne Glassplitter lagen jedoch im Kropf zerstreut der Schleimhaut fest an, und waren auch durch leichtes Streichen von der Schleimhaut nicht loszulösen; sie hafteten durch ein ziemlich zähes Secret. Löste man die Splitter durch Befeuchten mit Wasser, so hatte unter ihnen die Schleimhaut das normale Aussehen. Eine dritte Taube wurde 24 Stunden nach Einführung der Glassplitter getödtet. Im Kropf und Oesophagus fanden sich keine Glasstückchen mehr, im Muskelmagen neben etwas Nahrung, Schneckenhäusern und Kieselsteinchen — ein normaler Befund — zahlreiche Glasstückchen. Das Interessanteste war, dass alle Glassplitter abgeschliffen waren; kein einziger zeigte mehr eine scharfe Spitze oder Kante. Bloss bei einer der Tauben fand sich eine leichte Blutung im Kropf.

Da ich die Vermuthung hatte, dass die Dellenbildung im Magen-Darmtract bei der Fortbewegung verschluckter Fremdkörper von Bedeutung sei, wurden an Hunden, Katzen und Tauben Versuche in der Art angestellt, dass ich den Thieren, meist in Narkose, mittelst eines eingeführten Magenschlauches in einer Gelatinekapsel Stecknadeln in den Magen, bei Tauben in den Kropf brachte. Die Stecknadeln waren in der Kapsel stets so angeordnet, dass die eine Hälfte mit der Spitze, die andere mit dem Köpfchen nach dem Deckel gerichtet und sie gut unter einander gemischt waren. Die Gelatinekapseln hatten eine längliche Form; eine Umdrehung der Nadeln in der Kapsel war unmöglich. Die erste Versuchsreihe wurde an Hunden und Katzen gemacht, die mindestens durch 24 Stunden, bevor ihnen die Stecknadeln gereicht wurden, gefastet hatten. Die Mehrzahl der Thiere wurde schon eine bis zwei Stunden vor der Section getödtet,

um eine Verschiebung der Nadeln durch Peristaltik, die in Folge der Eröffnung der Bauchhöhle auftritt, zu vermeiden. Zwei Katzen, eine erwachsene und eine halbwüchsige, bekamen in der geschilderten Weise je 40 Stecknadeln von 23 mm Länge, und wurden, nachdem sie weitere 23 Stunden gefastet hatten, getödtet. Die erwachsene Katze (Nr. 1 der Tabelle) war vor der Tödtung vollkommen wohl; die junge erschien etwas krank, Betasten des Abdomens empfand sie jedoch nicht schmerzhaft. Bei der Section zeigte sich bei letzterer (Nr. 2) eine beginnende Pneumonie; in der Bauchhöhle fand sich etwas klare, nicht blutige Flüssigkeit. Sonstige pathologische Erscheinungen konnte ich bei keinem der Thiere nachweisen. Wie die Section ergab, fanden sich bei der alten Katze vierzig Nadeln im Duodenum von Haaren, die das Thier verschluckt haben musste umgeben, in einem grossen Paket. 25 Nadeln lagen mit dem Köpfchen voraus, 15 mit der Spitze. Es hatten sich also bereits im Magen 5 Nadeln umgedreht, um mit dem stumpfen Ende voraus ihre Wanderung durch den Darm anzutreten. Wie ich mich nachträglich überzeugte, waren die Nadeln für Versuche an Katzen zu lang; ein Umdrehen im Magen der Thiere war schon schwierig, im Darm unmöglich; ja, bei der jungen Katze war auch der Magen in contrahirtem Zustand zu klein, um den Nadeln eine Umdrehung zu ermöglichen. Bei dieser hatten bereits alle Nadeln den Magen verlassen und fanden sich im Darm, 20 mit der Spitze, 20 mit dem Köpfchen voraus. Im Dünndarm lag nahe dem Coecum eine Nadel mit dem Kopf voraus. Im ganzen Verlauf des Dünndarms verstreut fanden sich 9 Nadeln mit der Spitze voraus. Im Dickdarm wurden 19 Nadeln mit dem Kopf voraus, 11 mit der Spitze voraus gefunden. In diesem Fall, wo eine Umdrehung im Darm ausgeschlossen war, waren also die Nadeln, die mit dem Köpfchen voraus lagen, schneller gewandert wie die anderen. Läsionen der Schleimhaut fanden sich nirgends.

Zwei Hunde und eine alte Katze bekamen in je einer Gelatinekapsel 50 nur 16 mm lange Stecknadeln, die Hälfte der Nadeln mit dem spitzen Ende am Boden der Kapsel, die andere Hälfte umgekehrt. Alle drei Thiere hatten 24 Stunden vorher bereits gefastet und wurden 18 Stunden nach der Einführung der Nadeln getödtet. Bei der Katze (Nr. 5) zeigte sich folgende Anordnung der Nadeln. Im Magen lagen 4 Nadeln mit unbestimmbarer Richtung[1]). Im

1) So will ich die Richtung nennen, bei welcher es nicht klar ist, ob der Kopf oder die Spitze der Nadel im Sinne des Speisebrei-Stromes liegt.

Dünndarm, auf die ganze Länge vertheilt, fanden sich 4 Nadeln mit der Spitze voraus, im Dickdarm 11 mit der Spitze, 30 mit dem Kopf voraus. Es lagen also im ganzen Darmtract 15 mit der Spitze voraus, 30 mit dem Kopf voraus, 4 im Magen unbestimmbar. Die mit der Spitze analwärts gerichtet lagen, waren auch in diesem Fall langsamer gewandert wie die anderen. Bei dem ersten der Hunde (Nr. 4) fanden sich im Magen und Dünndarm keine Nadeln mehr, im Coecum lagen 4 Nadeln, alle mit dem Kopf gegen das blinde Ende gekehrt. Im übrigen Dickdarm lagen 3 mit der Spitze voraus, 43 mit dem Kopf voraus. Bei dem zweiten Hund (Nr. 6) fand sich im Magenfundus ein Paket von 28 Nadeln in einem Gewirr von Haaren und Pflanzentheilen eingebohrt, so dass die Köpfchen der Nadeln meist heraussahen. Dieses Nadelbündel lag längs der grossen Curvatur; 24 Nadeln waren mit dem Kopf gegen den Pylorus gekehrt; nur 4 lagen in umgekehrter Richtung. Eine weitere Nadel fand sich im Fundus mit dem Kopf gegen den Pylorus; bei vier Nadeln liess sich ihre Richtung nicht angeben. An der Cardia fand sich eine Nadel mit der Spitze voraus gekehrt. Im Pylorus lagen 14 Nadeln mit dem Köpfchen darmwärts, nur 1 Nadel in umgekehrter Richtung. Endlich fand sich die letzte Nadel im untersten Theil des Dünndarms mit dem Kopf voraus. Es lagen also von 50 eingeführten Nadeln 40 mit dem Köpfchen nur 6 mit der Spitze voraus; bei 4 liess sich die Richtung nicht bestimmen. Bei keinem der Thiere konnte ich irgend eine Verletzung der Schleimhaut finden, alle befanden sich vor der Tödtung vollkommen wohl.

Zwei weitere Hunde und zwei erwachsene Katzen erhielten abermals je 50 Nadeln in der Länge von 16 mm in derselben Weise. Die beiden Katzen wurden 24 Stunden nach Einführung der Nadeln, nach 48stündigem Fasten, getödtet. Bei der ersten Katze (Nr. 7) fanden sich noch alle 50 Nadeln im Magen. 49 lagen zu einem Paket geformt, durch einige Haare und Pflanzentheilchen verbunden, am Eingang zum Pylorus; 18 Nadeln lagen in diesem Paket mit der Spitze gegen den Pylorus, 31 in umgekehrter Richtung. Die letzte Nadel fand sich im Fundus mit dem Köpfchen gegen den Pylorus. Die zweite Katze (Nr. 8) hatte ebenfalls noch alle Nadeln im Magen. 3 lagen bereits im Fundus mit dem Kopf gegen den Pylorus, die 47 anderen fanden sich in der Gegend der Cardia in zwei fast gesonderten Paketen in querer Richtung liegend. Ein Paket enthielt 25, das andere 22 Nadeln. Es fiel mir auf, dass die

Nadeln, deren Köpfchen nach einer Richtung lagen, sich von den umgekehrt liegenden fast getrennt hatten, obwohl sie in der Gelatinekapsel gut gemischt waren; dann lagen auch beide Pakete mit den Köpfchen etwas tiefer als mit den spitzen Enden, doch ist es möglich, dass diese Verschiebung erst bei dem Aufschneiden des Magens zu Stande kam.

Der erste der Hunde (Nr. 9) wurde 44 Stunden nach Darreichung der Nadeln, das ist nach 48stündigem Fasten, getödtet. Von den 50 Nadeln fanden sich nur mehr 12 im Darm, 2 im Dünndarm mit der Spitze voraus, 2 im Dickdarm ebenfalls mit der Spitze voraus, 8 ebenda in umgekehrter Richtung liegend. Die Nadeln lagen zum Theil schon im Rectum, die meisten von Haaren und Stroh umgeben. Der Hund hatte im Zimmer unmittelbar vor der Tödtung Excremente abgesetzt; darunter fand ich einen Theil, an dessen Aussenseite ein Paket von 8 Nadeln sichtbar war. Die Nadeln lagen alle mit dem Köpfchen nach einer Richtung, leicht an der Oberfläche haftend, in ihrer ganzen Ausdehnung sichtbar. An demselben Fäcesstück waren noch die Köpfchen von weiteren 5 Nadeln sichtbar, alle in derselben Richtung liegend, die gleich gerichtet war mit der des früher erwähnten Paketes. Aus dem Vergleich mit den Fäcalmassen anderer Hunde glaube ich annehmen zu dürfen, dass diese Nadeln im Rectum mit der Spitze oralwärts gelegen waren. Doch wird dieser Befund bei der unten gemachten Zusammenstellung natürlich nicht berücksichtigt. Der zweite Hund (Nr. 10) sollte eben zu Tode narkotisirt werden, als er vor meinen Augen seine Fäces entleerte; diese wurden sofort untersucht; es fanden sich 9 Nadeln, die im Rectum alle mit dem Köpfchen nach vorne gelegen hatten. Das Thier wurde am Leben gelassen.

Endlich erhielt eine erwachsene Katze (Nr. 12) nach 24stündigem Hungern 60 nur 9 mm lange Stecknadeln. 18 Stunden nachher wurde sie getödtet. Bei der Section fanden sich im Magen und Dünndarm weder Speisereste noch Nadeln. Im Dickdarm hingegen waren trotz des Fastens noch reichliche Fäcalmassen, in denen sich die Nadeln fanden. Im Coecum lagen 8 Nadeln, eine quer gelegen, 5 mit dem Kopf gegen den Enddarm, 2 in umgekehrter Richtung gelegen. Im übrigen Dickdarm lagen 4 Nadeln quer, 33 mit der Spitze voraus, nur 14 mit dem Kopf nach vorne; eine Nadel konnte ich nicht finden. Sämmtliche Nadeln lagen in dem bereits ziemlich festen Darminhalt eingebettet, so dass sie grösstentheils mit der

Schleimhaut gar nicht in Berührung waren. Ich vermuthe, dass dieser Versuch desshalb kein mit den früheren übereinstimmendes Resultat ergab, weil die Nadeln zu kurz waren, um überhaupt auf ihrem Wege mit der Schleimhaut in nennenswerthe Berührung zu kommen, um so mehr, als sie von ziemlich reichlichem Darminhalt umgeben waren. Dieser Versuch erinnert an den später zu besprechenden, am todten Kaninchenmagen, wobei sich ähnliche Verhältnisse ergaben. Einige weitere Versuche wurden an Thieren gemacht, die kurz vor der Einführung der Nadeln zu fressen bekommen hatten. Einem Hund (Nr. 3) waren in der geschilderten Weise 50 Stück 23 mm lange Stecknadeln gereicht worden. 22 Stunden später und 3 Stunden nach einer weiteren Mahlzeit wurde er getödtet und 1 Stunde später secirt. Der Magen enthielt massenhaft frisch genossene Speisen; im Speisebrei fanden sich 40 Nadeln, die nirgends eine Läsion verursacht hatten. Eine bestimmte Anordnung der Nadeln liess sich nicht erkennen. Im Pylorus und dem Anfang des Duodenums lagen nur 10 Nadeln; davon lagen 8 mit dem Köpfchen nach dem unteren Darmabschnitt gerichtet in der Längsrichtung des Darmes, eine einzige umgekehrt, die zehnte lag quer im Darm mit dem Köpfchen und der Spitze in je einer Mulde der Schleimhaut, ohne jedoch eine Verletzung erzeugt zu haben. Eine erwachsene Katze (Nr. 11) erhielt, kurz bevor ihr 50 Stück 16 mm lange Nadeln gegeben wurden, Nahrung und wurde 24 Stunden nachher getödtet. Der Magen enthielt nur mehr wenig Speisereste. Umgeben von etwas Speisebrei fand sich nahe der Cardia ein Paket von 13 Nadeln, die lose neben einander lagen. Sämmtliche Nadeln lagen mit ihrer Spitze gegen den Pylorus gekehrt. Im Pylorus selbst fanden sich, zu einem zweiten Paket geordnet, 27 Nadeln, die auch frei neben einander lagen. Alle 27 Nadeln lagen mit dem Köpfchen nach dem Dünndarm gerichtet. Der Dünndarm enthielt nur wenig Speisebrei; in seiner unteren Hälfte fand ich verstreut 4 Nadeln, alle mit dem Kopf voraus. Im Coecum lagen 2 weitere Nadeln mit dem Kopf voraus. In dem ziemlich festen Koth des übrigen Dickdarmes fanden sich noch 3 Nadeln mit dem Kopf voraus, 1 mit der Spitze voraus.

Zuletzt wurden noch an 2 mittelgrossen Hunden folgende Versuche angestellt. Der erste (Nr. 13) erhielt nach 24stündigem Fasten in einem Stückchen Wurst eine Gelatinekapsel mit 40 Stück 16 mm langen Stecknadeln, die in der gewohnten Weise angeordnet waren. 24 Stunden später beobachtete ich den Abgang von Stuhl, in dem

sich 11 Nadeln fanden; 10 davon waren mit dem Köpfchen voraus, nur eine in umgekehrter Richtung abgegangen. Einige weitere Stühle, deren Abgang ich in den nächsten Tagen beobachtete, enthielten keine Nadeln, doch ist es möglich, dass das Thier bei seinem Aufenthalt im Freien oder im Stall Nadeln entleerte, die ich nicht zu Gesicht bekam. Vier Tage später erhielten dieser Hund und ein zweiter (Nr. 14) ebenfalls mit dem Futter je 50 Stück 16 mm lange Nadeln in gewohnter Weise. Am Tage darauf fand ich im Stuhl, den der Hund (Nr. 13) vor meinen Augen absetzte, 50 Nadeln; nur 2 davon waren mit der Spitze nach vorne gekehrt gelegen, die übrigen 48 umgekehrt. Am folgenden und nächstfolgenden Tage erfolgte vor mir kein Abgang von Stuhl. Die Thiere befanden sich vollkommen wohl. Am dritten Tage erhielten beide Thiere in der gewohnten Weise abermals je 50 Stück 10 mm lange Nadeln. Tags darauf beobachtete ich den Hund Nr. 14 beim Absetzen seines Stuhles und fand darin 10 Nadeln, die alle mit dem Köpfchen nach vorne gelegen waren.

Im Stroh des Stalles fand sich ein weiterer Stuhl, der 14 Nadeln enthielt. Alle lagen mit dem Köpfchen nach einer Richtung; nach dem Aussehen des Stuhles musste ich annehmen, dass sie im Darm mit dem Kopf nach vorne gelegen waren. Ich will gleich hier erwähnen, dass in der Tabelle nur jene Nadeln angegeben sind, die ich in den Fäces fand, die vor meinen Augen entleert wurden. Wieder einen Tag später sah ich den Hund Nr. 14 einen Stuhl mit 4 Nadeln absetzen; alle waren mit dem Kopf nach vorne gelegen. Im Stall der Thiere fand sich ein Stuhl mit 22 Nadeln; 8 davon lagen in einem ganz dünnflüssigen Antheil, so dass ich von keiner Richtung sprechen kann; die 14 anderen fanden sich in einer etwas festeren Partie, 10 nach der einen Richtung, 4 nach der entgegengesetzten liegend. Nach dem Aussehen des Stuhles vermuthe ich, dass die 10 Nadeln im Darm mit dem Kopf nach vorne gelegen hatten. Am folgenden Tag fand ich im Stall noch mehrere Stühle, die zusammen 17 Nadeln enthielten, über deren muthmaassliche Lage im Darm ich nichts sagen kann, da ich die Fäces nur in zertretenem Zustand fand. Die Thiere waren bis zum Abschluss der Versuche vollkommen wohl. Dass ich nicht alle Nadeln, die den Thieren gegeben worden waren, zu Gesicht bekam, rührt daher, dass einzelne Stühle theils im Garten, theils im Stroh des Stalles verloren gegangen sein dürften. Bei 240 verfütterten Nadeln sah ich

den Abgang von 75. Nur 3 waren mit der Spitze voraus, die übrigen 72 mit dem Köpfchen voraus abgegangen.

Zur klareren Uebersicht diene die nachfolgende Tabelle:

Thier	Länge der gegebenen Nadeln in mm	Anzahl der gegebenen Nadeln	Anzahl der gefundenen Nadeln	Lage der Nadeln		Lage der Nadeln nicht bestimmbar
				Spitze liegt analwärts	Spitze liegt oralwärts	
1. Katze . . .	23	40	40	15	25	—
2. Katze (jung)	23	40	40	20	20	—
3. Hund . . .	23	50	50	1	8	41
4. Hund . . .	16	50	50	7	43	—
5. Katze . . .	16	50	49	15	30	4
6 Hund . . .	16	50	50	6	40	4
7. Katze . . .	16	50	50	18	32	—
8. Katze . . .	16	50	50	0	3	47
9. Hund . . .	16	50	12	4	8	—
10. Hund . . .	16	50	9	0	9	—
11. Katze . . .	16	50	50	14	36	—
12. Katze . . .	9	60	59	35	19	5
13. Hund . . .	16	140	61	3	58	?
14. Hund . . .	16	100	14	0	14	?
Summe	—	830	**584**	**138**	**345**	**101**

Wie aus der Tabelle hervorgeht, wurden 345 Nadeln mit dem Kopf nach vorne liegend gefunden und nur 138, das entspricht einem Verhältniss von 7 : 3, in umgekehrter Richtung. Schaltet man die Versuche 2 und 12 aus, bei denen die Versuchsanordnung ein Gelingen im Falle 2 unmöglich, im Falle 12 durch die Kleinheit der Nadeln sehr unwahrscheinlich machte, so stellt sich die Zahl der mit dem Kopf voraus liegenden Nadeln zu den umgekehrt liegenden wie 306 : 83. Es fanden sich danach drei Mal so viel Nadeln mit dem Kopf nach vorne liegend im Magen-Darmtract als umgekehrt. Dieses Verhältniss von 3 : 7 oder 3,6 : 1 ist entschieden zu gross, um sich durch ein zufälliges Zusammentreffen erklären zu lassen; auch ist bei der Zahl von 584 Nadeln, von deren Lage im Darm oder Magen ich mich überzeugte, ein Zufall wohl als ausgeschlossen zu betrachten, so dass man annehmen muss, wir haben es hier mit einer Erscheinung zu thun, die auf einen wohl ausgebildeten Mechanismus hindeutet. Es liesse sich der Einwand erheben, dass das geschilderte Verhalten der Nadeln im lebenden Magen und Darm auf rein mechanischen Verhältnissen beruhe und die Umdrehung bei der Bewegung in jedem Rohr etwa in Folge der Lage des Schwerpunktes der Stecknadel eintreten könne. Zur

Prüfung dieses Einwandes stellte ich folgende Versuche an. Der Magen eines vor einigen Stunden getödteten Kaninchens wurde aus dem Thier herausgenommen und entleert, der Pylorus mit einem Bindfaden fest abgebunden und hierauf in den Magen 20 Stecknadeln, 10 mit der Spitze voran, 10 in umgekehrter Richtung, durch die Cardia eingeführt. Dann wurde die Cardia ebenfalls fest abgebunden und der Magen mit dem Pylorus nach abwärts in einem Winkel von ungefähr 45° aufgehängt; nun wurde mit den Fingern leicht längs des Verlaufes der grossen Curvatur über den Magen gestrichen, so dass eine Art von Wellen von der Cardia zum Pylorus hinliefen. Nachdem diese Manipulation ungefähr 10 Minuten gedauert hatte, wurde der Magen horizontal hingelegt und das Wasser vorsichtig abgelassen. Bei der nun folgenden Eröffnung des Magens fanden sich sämmtliche Nadeln nahe dem Pylorus in einem wirren Durcheinander, so dass von der Angabe einer Richtung nicht die Rede sein kann. Erwähnen will ich, dass sich keine in die Schleimhaut eingebohrt hatte. Einen zweiten Versuch machte ich an einem 60 cm langen Katzendarm. Nachdem das Thier bereits einige Stunden todt war, wurde der Dünndarm herausgenommen und nach der Entfernung seines Inhaltes durch Spülung mit Wasser an dem unteren Ende abgebunden. Ich füllte nun den Darm mit einer mässigen Menge Wasser und führte durch das obere Ende 5 Stecknadeln mit der Spitze voran, 5 in umgekehrter Richtung ein. Das obere Ende band ich nun gleichfalls ab und hängte den Darm mit seinem unteren Ende tiefer als mit dem oberen auf. In gleicher Weise wie am Magen wurde auch hier eine nach abwärts verlaufende Wellenbewegung erzeugt, die ich durch ungefähr 10 Minuten wirken liess. Hierauf wurde das Wasser vorsichtig abgelassen und der Darm der Länge nach aufgeschnitten. Die 5 Nadeln, die mit dem Köpfchen voran in den Darm eingeführt worden waren, fanden sich alle am untersten Ende des Darmes. Die 5 anderen Nadeln waren alle in der oberen Hälfte des Darmes stecken geblieben, so zwar, dass ihre Spitze sich in geringem Grade in der lockeren Schleimhaut verfangen hatte. Diese beiden Versuche zeigten mir, dass zur aufgefundenen Lagerung der Nadeln im lebenden Magen-Darmtract diese mechanischen Verhältnisse allein nicht genügen. Im todten Magen hatten sich die Nadeln in wirrem Durcheinander befunden, im todten Darm bestand allerdings eine Aehnlichkeit im Wandern der Nadeln darin, dass die Nadeln, die mit dem Kopf voraus gelagert waren, rasch das untere

Ende des Darmes erreichten; hingegen blieben die Nadeln, die mit der Spitze voraus eingeführt worden waren, in der Schleimhaut stecken, und auch die am lebenden Darm als Regel aufzufassende Umdrehung der Nadeln stellte sich nicht ein. Es müssen demnach als Ursachen der Verhältnisse im lebenden Magen-Darmtract noch andere Momente als rein mechanische in Betracht kommen.

In der Folge wurden an zwei Tauben ebenfalls Versuche mit Nadeln gemacht. Bei den Thieren führte ich in den Kropf je 60 Stück 9 mm lange Stecknadeln in der gewohnten Weise ein. Nach 24 Stunden wurden die Thiere bei bestem Wohlbefinden getödtet. Bei der einen Taube fanden sich noch die Mehrzahl der Nadeln im Kropf in wirrem Durcheinander, so dass von einer bestimmten Ordnung nicht gesprochen werden kann. Bemerkenswerth war nur, dass keine einzige der Nadeln sich in die Schleimhaut eingebohrt hatte; alle lagen frei, theilweise direct an der Schleimhaut, theilweise zwischen gefressenen Körnern. Auch war keine Läsion zu finden. Eine kleine Zahl der Nadeln lag im Muskelmagen; der Oesophagus enthielt keine Nadel. Bei der zweiten Taube war der Kropf und Oesophagus frei von Nadeln; eine Verletzung fand ich nicht. Im Muskelmagen fanden sich alle 60 Stecknadeln, kreuz und quer gelagert, so dass eine Gesetzmässigkeit nicht zu erkennen war. Die Nadeln lagen theils einzeln, theils zu zweien und dreien neben einander, wobei es vorkam, dass eine mit der Spitze nach dieser, die benachbarte nach der entgegengesetzten Richtung lag. Ein Befund, der bei den analogen Versuchen an Hunden und Katzen zu den äussersten Seltenheiten gehörte. Auch hier im Magen war keine einzige der Stecknadeln mit ihrer Spitze in das Epithel eingebohrt; sie lagen alle theils unmittelbar an dem Epithel, theils zwischen den Steinchen und Kalkpartikelchen, die sich ausserdem im Magen befanden. Nirgends konnte ich Spuren von einer Verletzung finden. Blut fehlte vollkommen. Der Magen dieser Taube enthielt etwas Galle, wie dies auch bei den Säugethieren, die Nadeln im Magen hatten, öfters beobachtet wurde. Die bei der ersten dieser beiden Tauben im Magen gefundenen wenigen Nadeln lagen ebenfalls scheinbar ohne Wahl der Richtung. Auch hier fehlte jede Läsion; die Nadeln lagen frei in dem sonst fast leeren Magen.

Zum Schlusse dieser Versuchsreihen will ich nochmals den auffallenden Punkt betonen, dass ich, obwohl ich über achthundert Nadeln

verfüttert habe, niemals sah, dass eine der Nadeln sich mit ihrer Spitze in die Schleimhaut eingebohrt hätte. Auch fand sich bei allen Versuchen mit Nadeln nie die geringste Läsion. Mit Ausnahme der jungen Katze (Nr. 2) befanden sich alle Thiere zur Zeit der Tödtung vollkommen wohl. Diese hatte 40 Stück 23 mm lange Nadeln erhalten, die dann in derselben Ordnung, wie sie eingeführt worden waren, sich im Darm wieder fanden, da eine Umdrehung durch Raummangel in diesem Fall unmöglich war. Das Peritoneum liess niemals irgend welche Zeichen der Entzündung erkennen; nur die Bauchhöhle der erwähnten jungen Katze enthielt einige Cubikcentimeter klarer gelblicher Flüssigkeit; ausserdem fand sich, wie gesagt, eine beginnende Pneumonie. Die Nadeln lagen fast alle mit ihrer Längsachse in der Längsrichtung des Darmes. Ein zweiter auffallender Befund war folgender: Bei einer der Katzen (Nr. 1) und einem der Hunde (Nr. 6) waren grössere Pakete von Nadeln neben einander gelagert, durch ein dichtes Flechtwerk von Haaren — wie es schien, hatten die Thiere ihre eigenen Haare gefressen — und Pflanzentheilen — ich fand Stroh und Holzstückchen — mit einander fest verbunden, so dass nur die Köpfchen der Nadeln heraussahen. Es waren auf diese Weise Pakete gebildet worden, die, ohne Läsionen zu verursachen, leicht im Magen-Darmtract fortgeschoben werden konnten. Doch auch bei Bildung dieser Pakete war die Mehrzahl der Nadeln mit dem Köpfchen nach vorne gelagert; das bei der Katze (Nr. 1) im Duodenum gefundene Paket bestand aus 40 Nadeln; davon lagen 25 mit dem Köpfchen voraus, nur 15 in umgekehrter Richtung; das Paket beim Hund (Nr. 6), im Magen nahe dem Pylorus gelegen, bestand aus 28 Nadeln; 24 lagen mit dem Köpfchen gegen den Darm gerichtet, nur 4 umgekehrt. So zeigt sich, dass durch die Bewegung des Magens die spitzen Antheile der eingeführten Fremdkörper in Contenta vergraben und dadurch unschädlich gemacht werden.

Ich will ferner darauf aufmerksam machen, dass, wie aus den mitgetheilten Versuchsergebnissen hervorzugehen scheint, beim hungernden Thier die Nadeln sehr rasch durch den Dünndarm wandern, hingegen lange im Magen und Dickdarm liegen bleiben. Ich fand nur eine verhältnissmässig kleine Anzahl Nadeln im Dünndarm. Auch im Coecum lagen relativ selten Nadeln, die theils mit dem Köpfchen, theils mit der Spitze gegen das blinde Ende des Coecums gerichtet waren.

Versuch einer Erklärung der Erscheinungen.

Zur Erklärung des Umdrehens der Stecknadeln im Darmtract wollen wir zunächst zwei extreme Fälle annehmen. Wäre der Inhalt vollkommen flüssig, so bewegt er sich nach allgemeinen hydrodynamischen Gesetzen, durch die normale Peristaltik getrieben, in der Mitte mit grösserer Geschwindigkeit als am Rande des Rohres. Werden nun die Stecknadeln, die mit der Spitze nach vorne gekehrt im Darm liegen, durch den Flüssigkeitsstrom fortbewegt und berühren dabei mit ihrer Spitze einen Punkt der Schleimhaut, so entsteht an dieser Stelle eine Einziehung. Berührt das Köpfchen einer Nadel die Schleimhaut, so würde keine oder doch eine nicht so tiefe Delle entstehen. In dieser Bucht muss die Geschwindigkeit des Stromes noch geringer sein als am Rande des sonst gerade verlaufenden Rohres, die Spitze der Nadel, die nun an dieser Stelle von geringer Strömungsgeschwindigkeit liegt, muss zurückbleiben, während das Köpfchen der Nadel, in einer Flüssigkeitsschicht von grösserer Strömungsgeschwindigkeit liegend, rascher fortbewegt wird. Durch diesen Vorgang käme die Umdrehung der Nadel in flüssigem Darminhalt zu Stande.

Ist im Gegensatz dazu der Darminhalt bereits in dickeren Koth verwandelt, so bewegt sich die ganze Säule in toto über die Schleimhaut gleitend nach vorne. Liegt in einer solchen Kothsäule nun eine Nadel, deren Spitze nach vorne gekehrt ist, so wird an der Schleimhaut, sobald sie durch die herausragende Spitze berührt wird, eine Delle entstehen, es wird sich die Schleimhaut an dieser Stelle von der Kothmasse abheben, also auch nicht den Druck ausüben können, durch den im übrigen Darmumfang die Fortbewegung der Masse bewirkt wird. Diese wird da, wo die Nadelspitze liegt, relativ zurückbleiben, wobei der Rand der Delle dem Vorrücken der Spitze noch ein besonderes Hinderniss entgegen setzen wird. Solche Umstände, während des ganzen Weges durch den Darmtract wirksam, können durch Addition die völlige Umdrehung hervorrufen. Diese beiden extremen Fälle werden nur ausnahmsweise (Flüssigkeit) und an bestimmten Stellen des Rohres (feste Contenta im Dickdarm) verwirklicht sein. In der Regel dürften die in flüssigen Massen schwimmenden Brocken des Darminhaltes, welche hauptsächlich in der Achse des Darmes fortschreiten, eine in der geschilderten Weise

situirte Nadel, an ihrem einen grösseren Angriffspunkt bildenden Köpfchen vorwärtsschieben und die in der Delle liegende Spitze schon desshalb nicht berühren, weil sie in dieselbe nicht eindringen. Wer oftmals Darmlumina eröffnet hat, weiss, dass die Oberfläche der Schleimhaut in der Regel sich reinlich von dem Inhalt, wenigstens wenn er einigermaassen consistent ist, abhebt, mit anderen Worten, dass sich zunächst an der Schleimhaut eine flüssige (schleimige) Schicht befindet, innerhalb deren die Contenta vorwärtsrücken. Diese relativ ruhende Flüssigkeitsschicht wird gewiss auch die Delle, in der die Spitze der Nadel liegt, erfüllen. Dass noch ein dritter Mechanismus für die Umdrehung der Nadeln existirt, wird durch folgende, bereits früher erwähnte Beobachtung wahrscheinlich gemacht. In der Nähe der durch Reizung mit Nadelstichen erzeugten Dellen sah ich öfters an der Aussenseite des Darms Einschnürungen entstehen, die sich über einen kleinen Theil der Circumferenz des Darmes erstreckten. Die mondsichelartigen Einschnürungen waren durch Contraction der Ringmuskel-Schicht bedingt und traten etwas ober- oder unterhalb der gereizten Stelle auf. Ich vermuthe nun, dass diese Einschnürungen bei der Umdrehung einer Nadel auch eine Rolle spielen, indem sie auf der Seite des Darmrohres, auf welcher die Spitze der Nadel liegt, ein Hinderniss für das Fortschreiten der Darmcontenta bilden. Der erste und dritte Factor des Mechanismus der Wendung einer Nadel spielt naturgemäss in den oberen Abschnitten des Verdauungstractes eine grössere Rolle als in den unteren; der zweite wird hauptsächlich für die unteren Darmabschnitte von Bedeutung sein. Endlich werden im Magen und Darm bei der Umdrehung der Nadeln die normaler Weise bestehenden Falten eine Rolle spielen. Es ist wahrscheinlich, dass die Nadelspitze viel schwerer als das Köpfchen über die Unebenheiten der Schleimhaut hinweggleitet, die Spitze leichter in einem mit zähem Schleim erfüllten Faltenthal hängen bleibt, während das Köpfchen ungehindert weiterwandert.

Durch den geschilderten Mechanismus erklärt es sich auch, warum die Nadeln, die mit der Spitze nach vorne gekehrt im Darme liegen, langsamer wandern als die umgekehrt liegenden, — eine Thatsache, die aus den mitgetheilten Versuchen hervorgeht. (Man vergleiche die Fälle Nr. 2 S. 16, Nr. 5 S. 16 und Nr. 6 S. 17.) Die Nadeln, die mit der Spitze nach vorne im Darme liegen, verfallen

dem Mechanismus der Umdrehung, der, wie wir sehen, auf einer Behinderung des Vorrückens der Spitze beruht. Auch wenn die Wendung der Nadel nicht zu Stande kommt, kann diese Behinderung gewirkt haben und sich dann in der Verzögerung des Vorwärtsrückens zeigen.

Ueber die Zweckmässigkeit dieser Einrichtung ist meines Erachtens nicht viel zu sagen; es ist ja selbstverständlich für den Organismus von allergrösster Bedeutung, wenn er im Stande ist, einen spitzen Fremdkörper in seinem Magen-Darmtract so zu lagern, dass eine Verletzung der Schleimhaut unwahrscheinlich wird. Diese Function, den Verdauungstract vor Verletzung durch spitze Fremdkörper zu schützen, kommt nach den angestellten Beobachtungen vorzugsweise der Muscularis mucosae mit ihren Adnexen, im Dünndarm der Zottenmuskulatur, im Magen und Darm den zwischen die Drüsen der Schleimhaut aufsteigenden Muskelbündeln, zu.

Ich fasse zusammen: Der Magen und Darm der untersuchten Säugethiere besitzt in der Muscularis mucosae mit ihren Ausläufern eine Vorrichtung, die geeignet ist, die Schleimhaut vor Verletzungen durch spitze Fremdkörper zu schützen. Dies geschieht dadurch, dass sich an der Stelle der Schleimhaut, die durch den spitzen Gegenstand berührt wird, eine Delle bildet, d. h. die Schleimhaut weicht der gefährlichen Spitze aus und wird dadurch in der Regel den Fremdkörper nur da berühren, wo ein Contact für sie ohne Gefahr ist. Ferner besitzt der Darmtract die Fähigkeit, spitze Fremdkörper in eine solche Lage zu bringen, dass die Wanderung derselben durch den Verdauungstract die Gefahr der Verletzung auf das geringste Maass reducirt. Ist aber eine Läsion der Schleimhaut erfolgt, so wird die Blutung beschränkt.

So erklärt es sich, dass, wie meine Versuche zeigten, Glasscherben und Stecknadeln als recht unschädliche Eindringlinge zu betrachten sind.

Ich beabsichtige, in einer weiteren Mittheilung die analogen Erscheinungen am Menschen und ihre Consequenzen für die Chirurgie zu behandeln.

Anmerkung zur Correctur.

Nachträglich ersehe ich aus König (Krankheiten des Pharynx und Oesophagus. Deutsche Chirurgie Lief. 35 S. 102), dass Zoja (1867) und Omboni (1869) schon Versuche über die Wirkung verfütterter Näh- und Stecknadeln an Hunden, Katzen und Kaninchen gemacht haben. Ersterer hatte keinerlei Verwundungen, letzterer mehrere Einbohrungen von Nadeln in die Schleimhaut besonders nach Anwendung von Brechmitteln beobachtet.

Zur Fachsprache des Physiologen.

Von

Prof. **H. E. Hering** (Prag).

Die Veranlassung zu den folgenden Bemerkungen gibt mir die Einleitung, welche Verworn dem kürzlich erschienenen Hefte seiner Zeitschrift für allgemeine Physiologie voraus geschickt hat.

Wer den Inhalt von Verworn's früheren Publicationen kennt, wird einigermaassen überrascht sein, dass der Verfasser der „Psychophysiologischen Protistenstudien" jetzt folgende Forderung aufstellt: „Auf jeden Fall aber muss die Physiologie allmählich alle Bezeichnungen für subjective Vorgänge aus ihrem Wortschatz verwerfen, sonst hört die Confusion niemals auf, denn die Physiologie ist allein die Lehre von den objectiven Lebenserscheinungen."

Während Verworn's 1895 erschienene „Allgemeine Physiologie" noch die Definition enthält: „Die Physiologie ist demnach die Lehre von den Erscheinungen der lebendigen Natur", hat Verworn jetzt durch das Wort „objectiv", welches er den Lebenserscheinungen als Attribut beigesellt hat, seinen neuen Standpunkt scharf gekennzeichnet und sich in richtiger Consequenz desselben auch dafür ausgesprochen, dass die physiologische Ausdrucksweise sich demselben ebenfalls anpassen müsse.

Vergleicht man das, was Verworn über seinen jetzigen Standpunkt auf S. 8—10 seiner Einleitung sagt, mit dem, was ich in meiner ersten im Jahre 1893 erschienenen Mittheilung über die vorliegende Frage gesagt habe, so wird man finden, dass es principiell dasselbe ist. Da diese Mittheilung in diesem Arch. Bd. 54 erschienen ist, genügt es, auf S. 620—621 derselben hinzuweisen. Nur ein Satz möge wiederholt werden: „Der Physiologe bedarf einer Fachsprache, wie der Psychologe, und diese sollte überall dort, wo sie noch fehlt, geschaffen werden."

Um nicht missverstanden zu werden, möchte ich hervorheben, dass diese Auffassung in der Physiologie keine neue ist; sie ist

früher schon öfters gekennzeichnet worden, wenn auch vielleicht nicht so scharf und mit der klaren Consequenz der Forderung einer physiologischen Fachsprache. Meiner Meinung nach hat Jeder, der diesen Standpunkt aus innerer Ueberzeugung als den richtigen vertritt, nachdem er sich zu demselben durchgearbeitet hat, auch die Verpflichtung, an demselben consequent fest zu halten und ihn nicht nur bei allgemeinen Betrachtungen, sondern auch in jeder hierauf bezüglichen speciellen Mittheilung durch eine entsprechende Ausdrucksweise, wo es nötig ist, zu vertreten.

Letzteres ist vielleicht noch schwieriger, als die Erkenntniss der Nothwendigkeit eines solchen Verfahrens. Erfordert es schon in Folge des bekannten Beharrungsvermögens der lebendigen Substanz immer einer neuerlichen eigenen Anregung, einen Ausdruck, der doppelsinnig verwendet wird, wie z. B. den Ausdruck sensibel, vom physiologischen Standpunkt entweder gar nicht oder nur einsinnig zu verwenden, so ist es noch schwieriger, passende neue Ausdrücke, und schliesslich am schwierigsten, Anhänger und Nachfolger dieser speciellen Bestrebungen zu finden.

Daher begrüsse ich den neuen Standpunkt Verworn's, wie auch die Mittheilung von Beer, Bethe und v. Uexküll[1]) auf's Freudigste. Wenn wir unseren Standpunkt in jeder darauf bezüglichen speciellen Mittheilung zum Ausdruck bringen, dürfte derselbe bald mehr Vertreter finden als jetzt, womit sich das, was wir anstreben, allmählich von selbst entwickeln wird, nämlich eine physiologische Fachsprache, wenigstens in allen denjenigen Gebieten der Physiologie, in welchen dieselbe noch mit der Sprache des Psychologen zum Nachtheile der Physiologie verquickt ist.

1) Vorschläge zu einer objectivirenden Nomenclatur in der Physiologie des Nervensystems. Physiol. Centralbl. Bd. 13 S. 137. 1899.

Ueber die gleichsinnige Aenderung der Schlagfrequenz und der refractären Phase des menschlichen Herzens.

Von

Prof. **H. E. Hering** (Prag).

Beim Lesen der Ueberschrift dieser Mittheilung dürfte vielleicht Mancher darüber verwundert sein, dass sich dieselbe auf das menschliche Herz bezieht, und noch mehr, wenn er erfährt, dass es sich nicht um relativ freiliegende, einer directen künstlichen Reizung zugängliche menschliche Herzen handelt, wie z. B. bei der vielfach untersuchten Catharina Serafin. Und doch wird, so glaube ich, das Folgende die Berechtigung der gewählten Ueberschrift hinlänglich ergeben.

Die Physiologie ist zum grössten Theile bis jetzt noch immer Thierphysiologie, daher eine Bereicherung auf dem Gebiete der Physiologie des Menschen, wenn sie auch nur eine geringe ist, uns jeder Zeit erwünscht sein muss.

Allerdings ist gerade das Herz ein Organ, welches bei den verschiedensten Lebewesen eine grosse Aehnlichkeit der Eigenschaften seiner Muskulatur zeigt, ob wir es nun mit dem Herzmuskel des Frosches, Kaninchens, Hundes, des Affen oder des Menschen zu thun haben. Desswegen hat gerade die Uebertragung der Beobachtungen am Thierherzen auf das Menschenherz im Vergleich zu manchen anderen Organen eine grosse Berechtigung, und zwar eine viel grössere, als diejenigen, welche mit der Herzphysiologie auf nicht vertrauterem Fusse stehen, anzunehmen pflegen. Besonders gilt dies dann, wenn es sich um Erfahrungen handelt, die am Warmblüterherzen gemacht worden sind; denn die Herzen der Kaltblüter verhalten sich allerdings in mancher Hinsicht deutlich anders.

Trotz dieser vielfach berechtigten Uebertragung der am Warmblüterherzen gemachten Beobachtungen auf das Menschenherz werden uns doch, wie gesagt, Erfahrungen, welche sich auf das menschliche Herz beziehen, immer willkommen sein und wieder ihrerseits zur Controle des am thierischen Herzen Beobachteten dienen können. —

Bei der Analyse der Herz- bezw. Pulsunregelmässigkeiten des Menschen pflege ich an der Hand sorgfältig aufgenommener, mit genauer Zeitvermerkung versehener Herzstoss- bezw. Pulscurven folgenden nicht üblichen Weg einzuschlagen.

Ich bestimme die Schlagfrequenz pro Minute, berechne, wie lang eine Pulsperiode sein müsste, wenn das Herz regelmässig schlagend dieselbe Schlagfrequenz aufweisen würde, und sehe dann nach, um wie viel die unregelmässigen Pulsperioden kürzer bezw. länger sind als die berechnete Pulsperiode.

Als ich nun mein Augenmerk, veranlasst durch meine experimentellen Untersuchungen am Warmblüterherzen, auf die gelegentlich auftretenden abnormen kurzen Pulsperioden richtete, ist mir aufgefallen, dass die **kürzeste** abnorme Pulsperiode eines unregelmässig schlagenden Herzens um so kürzer ausfällt, je häufiger und umgekehrt um so länger ausfällt, je seltener das Herz schlägt, oder mit anderen Worten, die Länge der **kürzesten** abnormen Pulsperioden eines unregelmässig schlagenden Herzens ändert sich mit der Schlagfrequenz.

Weiterhin ergab sich mir, als ich die Länge der kürzesten Periode mit der Länge der aus der Schlagfrequenz berechneten Periode verglich, dass bei allen Schlagfrequenzen die **kürzeste** Periode immer ungefähr um denselben Bruchtheil kürzer ist als die aus der Schlagfrequenz berechnete Pulsperiode; anders gesagt, dass das Verhältniss der kürzesten Periode zu der berechneten Periode ein nahezu constantes ist.

Die auf S. 285 befindliche Tabelle veranschaulicht dies in übersichtlicher Weise.

Zur Zeitvermerkung benutzte ich den Chronometer von Jaquet; da dieser $1/5$ Sec. verzeichnet, beziehen sich alle Zeitangaben auf diesen Zeitwerth.

Aus dem fünften Stabe, in welchem angegeben ist, welchem Bruchtheile der aus der Schlagfrequenz berechneten Periode die kürzeste Periode entspricht, ersieht man, dass dieser Bruchtheil immer nahezu 0,6 beträgt. Der sechste Stab gibt an, um wie viel jeder aus der Beobachtung gefundene Verhältnisswerth von 0,6 als dem arithmetischen Mittel aller 16 Verhältnisswerthe abweicht. Wie man sieht, gehen alle diese Abweichungen in der einen (+) oder anderen (—) Richtung nur in einem einzigen Falle über 0,05 hinaus.

I. Beobachtete Person	II. Beobachtete Schlagfrequenz pro Minute	III. Dauer der berechn. Pulsperiode. Zeit in 1/6 Sec.	IV. Dauer der kürzest. beob. Pulsperiode. Zeit in 1/6 Secunde	V. Verhältniss d. kürzesten Periode zu der aus d. Schlagfrequenz ber.	VI. Abweichungen vom arithmetischen Mittel = 0,60
Hr.	31	9,68	5,33	0,55	— 0,05
Hr.	37	8,01	4,75	0,59	— 0,01
Kov.	41	7,32	4,00	0,55	— 0,05
Hr.	45	6,66	3,75	0,56	— 0,04
Kr.	54	5,55	3,50	0,63	+ 0,03
Hr.	56	5,36	3,50	0,65	+ 0,05
Hr.	63	4,76	3,00	0,63	+ 0,03
Hr.	66	4,54	2,66	0,59	— 0,01
Jan.	69	4,35	2,50	0,57	— 0,03
Hrs.	72	4,17	2,50	0,60	0,00
Kr.	78	3,85	2,33	0,61	+ 0,01
Jan.	85	3,53	2,00	0,57	— 0,03
W.	91	3,30	2,00	0,61	+ 0,01
Mik.	108	2,77	1,75	0,62	+ 0,02
Nov.	116	2,59	1,66	0,64	+ 0,04
W.	136	2,20	1,50	0,68	+ 0,08

Es ist wohl möglich, dass bei einer oder der anderen der angegebenen Schlagfrequenzen noch nicht die allerkürzeste gelegentlich auftretende Pulsperiode beobachtet wurde. Der Vergleich der Zahlen unter einander ergibt aber, dass dieser Umstand jedenfalls an den oben angeführten Gesammtergebnissen nichts ändern dürfte.

Wie sind diese Ergebnisse zu erklären?

Tritt an einem spontan schlagenden Herzen gelegentlich eine Periode auf, welche wesentlich kürzer ist als die Perioden, in welchen das Herz bei gleicher Frequenz regelmässig schlägt, so können wir uns das Auftreten einer solchen abnorm verkürzten Periode — wie ich an anderer Stelle schon aus einander gesetzt habe — nur durch das verfrühte Einwirken eines Reizes erklären, welcher stärker ist als jene normalen Reize, welche das Herz bei gleicher Frequenz zur regelmässigen Schlagfolge anregen. Der Reiz muss stärker sein, weil nach den vorliegenden Erfahrungen über die Wirkung der Extrareize auf das schlagende Herz dieselben unter sonst gleichen Umständen um so stärker sein müssen, je früher nach der spontanen Systole eine Extrasystole ausgelöst bezw. je stärker eine spontane Periode verkürzt werden soll. Mit derartigen durch gelegentlich auftretende abnorme Extrareize verkürzten Perioden haben wir es in unseren Fällen zu thun.

Bei derselben Schlagfrequenz können die abnormen Extra-

reize verschieden stark verkürzte Perioden auslösen, je nachdem diese Extrareize früher oder später nach Beginn der spontanen Periode einwirken.

Ueber die absolute Stärke dieser abnormen Extrareize wissen wir nichts; nur müssen sie, wie erwähnt, stärker sein als jene normalen Reize, welche der jeweiligen Schlagfrequenz entsprechen. Dabei könnten aber alle abnormen Extrareize unter einander ziemlich gleich stark sein oder auch in ihrer Stärke sehr differiren; im ersten Falle würde die Länge der verkürzten Periode von dem Zeitpunkt der Einwirkung, im zweiten Falle auch von der verschiedenen Stärke der Extrareize abhängen. Die kürzeste gelegentlich auftretende Periode würde demnach bei ein und derselben Schlagfrequenz durch den frühesten bezw. auch durch den stärksten abnormen Extrareiz ausgelöst werden.

Wie ist es aber zu erklären, dass die Länge der gelegentlich auftretenden kürzesten Periode sich mit der Schlagfrequenz ändert? Und warum beträgt die Länge der kürzesten Periode immer ungefähr den gleichen Bruchtheil der aus der zugehörigen Schlagfrequenz berechneten Periode?

Um diese Fragen zu beantworten, müssen wir uns zunächst des experimentellen Ergebnisses erinnern, dass wir unter sonst gleichen Umständen nicht im Stande sind, durch einen Extrareiz eine spontane Reizperiode ganz beliebig, d. h. über eine gewisse Grenze hinaus zu verkürzen, da der Herzmuskel eine refractäre Phase besitzt. Durch letztere wird die Länge der kürzesten Periode begrenzt. Wir wissen ferner, dass die refractäre Phase unter verschiedenen Bedingungen verschieden lang sein kann. Die verschiedenen Bedingungen, mit denen wir es bei unseren Beobachtungen zu thun haben, sind, soweit sie uns bekannt sind, die verschiedenen Schlagfrequenzen.

Unsere oben angeführten Ergebnisse lassen sich nun leicht erklären, wenn wir annehmen, dass die refractäre Phase sich gleichzeitig mit der Frequenz des Herzens ändert.

Mit dem Problem, ob und wie sich mit der Schlagfrequenz die refractäre Phase des Herzens ändert, hat man sich, soviel ich weiss, noch nicht speciell befasst. Es liegen aber Thatsachen vor, welche unsere soeben ausgesprochene Annahme schon jetzt als eine begründete ansehen lassen.

So ist es bekannt, dass mit der Erwärmung des Herzens seine

refractäre Phase sich verkürzt, mit der Abkühlung sich verlängert; im ersten Falle schlägt aber das Herz häufiger, im zweiten seltener. Ferner wissen wir schon seit langer Zeit, dass mit der Aenderung der Frequenz die Dauer der Systole und Diastole sich ändert, wenn auch nicht in demselben Verhältniss (Donders, Landois, Thurston, Baxt, Klug, v. Frey und Krehl). Wenn sich nun die Dauer der Systole ändert, so ändert sich hiermit auch die Dauer der refractären Phase; je schneller das Herz schlägt, desto kürzer, je langsamer es schlägt, desto länger ist die Dauer der Systole und dementsprechend auch die Dauer der refractären Phase.

Jetzt verstehen wir leicht, dass die Länge der gelegentlich auftretenden kürzesten Periode sich mit der Schlagfrequenz ändert; je grösser letztere, desto kürzer wird die refractäre Phase und desto kürzer wird die gelegentlich auftretende kürzeste Periode sein, was vollständig den in der Tabelle niedergelegten Befunden entspricht. Diese liessen sich allerdings auch erklären, wenn wir ein Recht hätten anzunehmen, dass die Stärke der abnormen Extrareize sich gerade entsprechend der Schlagfrequenz ändert. Diese Annahme können wir aber nicht machen, erstens, weil wir für dieselbe keinen Anhaltspunkt haben, und zweitens, weil eine solche gleichsinnige Aenderung der Stärke der abnormen Extrareize mit der Schlagfrequenz unwahrscheinlich ist, denn die Extrareize sind etwas Abnormes, Accidentelles und haben daher mit der Frequenzänderung des Herzens an und für sich gar nichts zu schaffen, was wohl nicht weiter ausgeführt zu werden braucht. —

Unter den im ersten Stabe der Tabelle angeführten Personen sind einige mehrmals erwähnt. Dies betone ich desswegen, weil man hieraus ersieht, dass auch an demselben Herzen mit der Aenderung der Frequenz die Länge der gelegentlich auftretenden kürzesten Periode sich gleichsinnig änderte. Besonders schön liess sich dies bei der Person Hr. verfolgen, welche mit einer durch Digitalisverabreichung bedingten stark verminderten Frequenz und unregelmässigem Herzschlage in meiner Klinik aufgenommen wurde. In dem Maasse, als im Laufe einer Anzahl von Tagen die Verlangsamung wieder einer schnellen Schlagfolge Platz machte, in demselben Maasse wurden auch die gelegentlich auftretenden kürzesten Perioden länger, wie man aus der Tabelle ersehen kann.

Der umgekehrte Fall liess sich bei der Person W. beobachten, bei welcher, als sie auf die Klinik kam, die Frequenz des unregelmässig schlagenden Herzens 130 betrug, nach Digitalisgebrauch und Bettruhe auf 91 fiel; dementsprechend nahm auch die Länge der gelegentlich auftretenden kürzesten Perioden ab. Bemerken will ich noch, dass es sich nicht um ausgesuchte, sondern um zufällig zusammengewürfelte Fälle handelt, welche ich innerhalb der in der Tabelle angeführten Schlagfrequenz noch sehr hätte vermehren können. Da dieselben sich jedoch in ganz gleicher Weise verhielten wie die erwähnten, hielt ich es nicht für nöthig, die Tabelle überflüssig zu vergrössern.



Fig. 1.

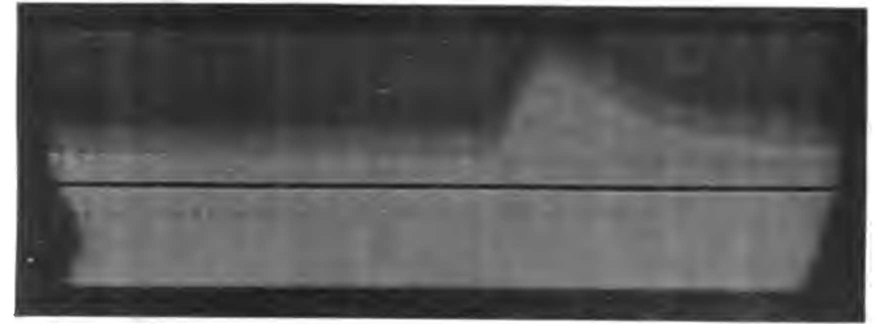


Fig. 2.

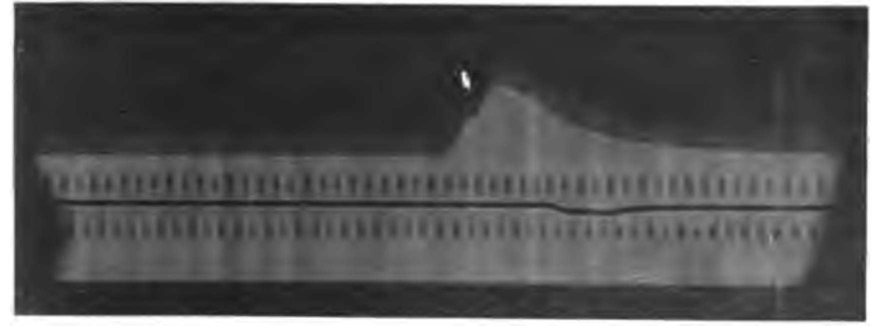


Fig. 3.



Fig. 4.

Taf. ..

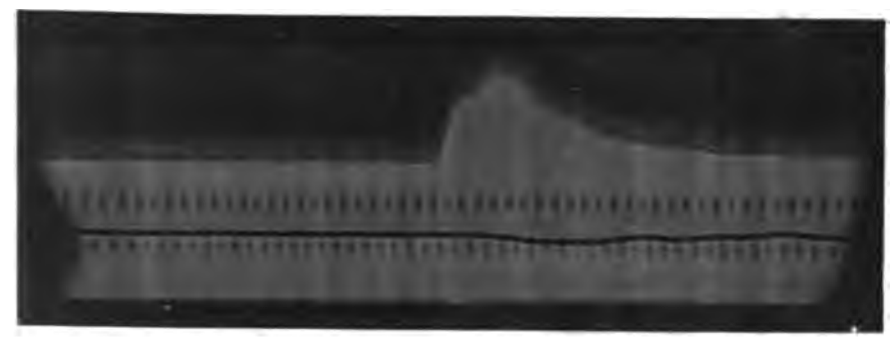


Fig. 5.

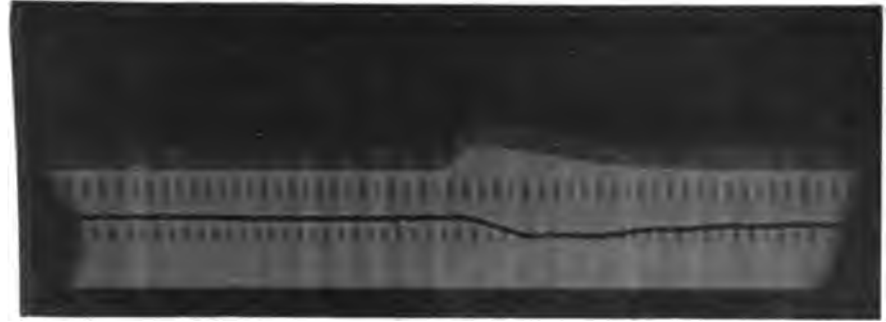


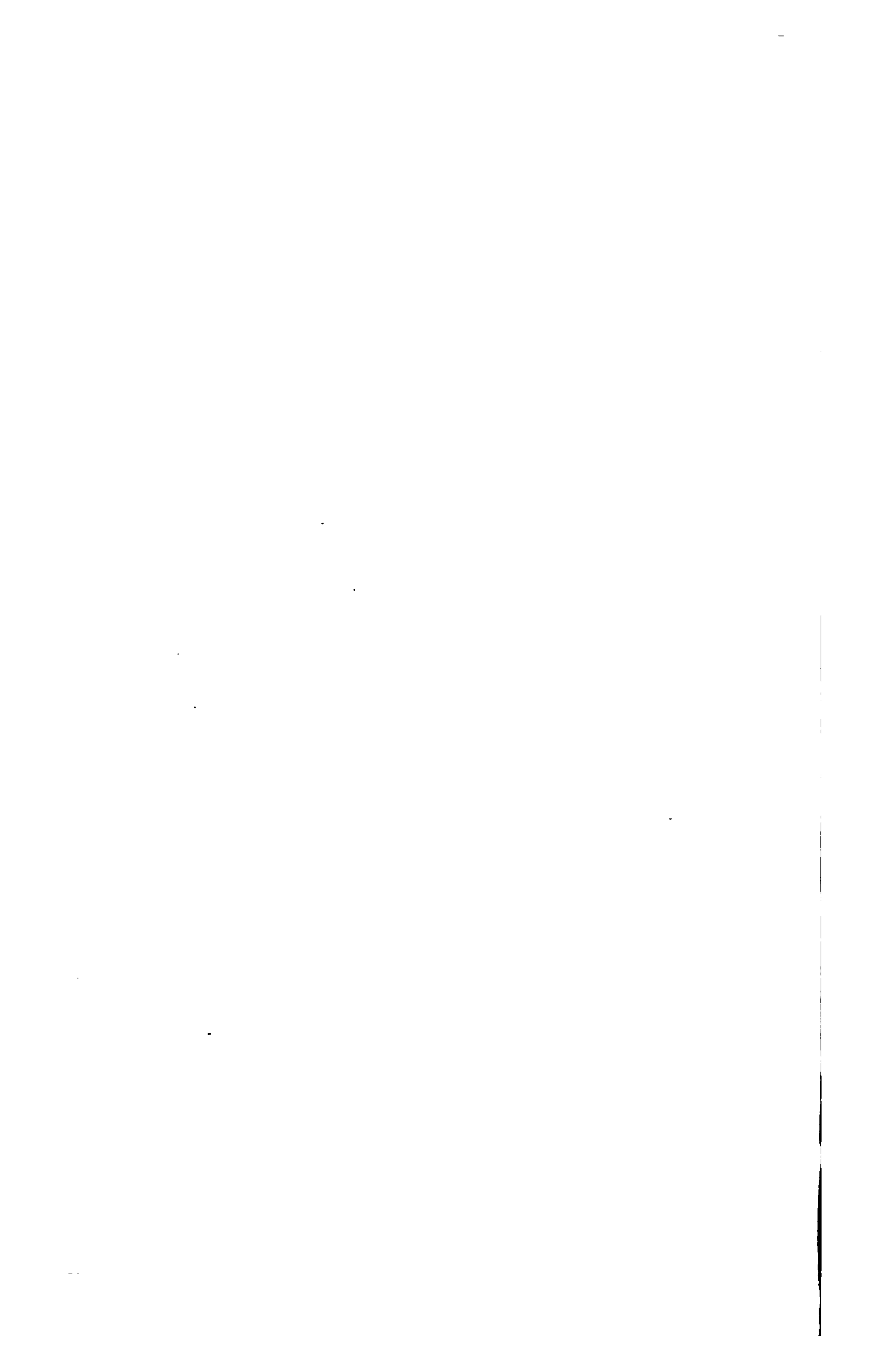
Fig. 6.



Fig. 7.



Fig. 8.



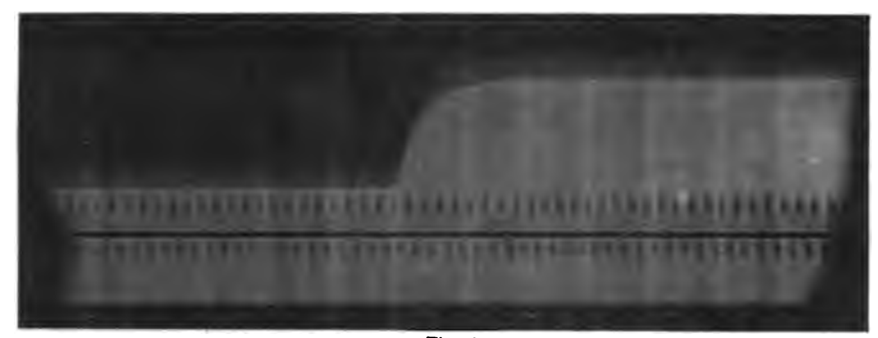


Fig. 9.

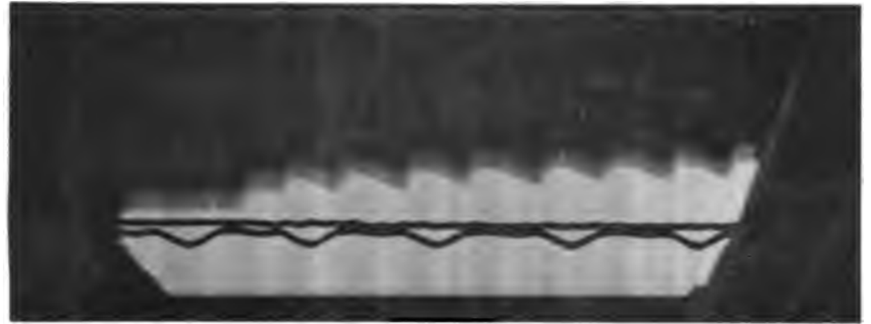


Fig. 10.

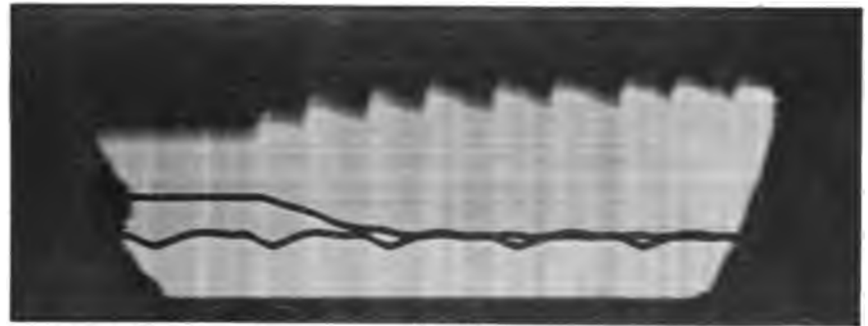


Fig. 11.

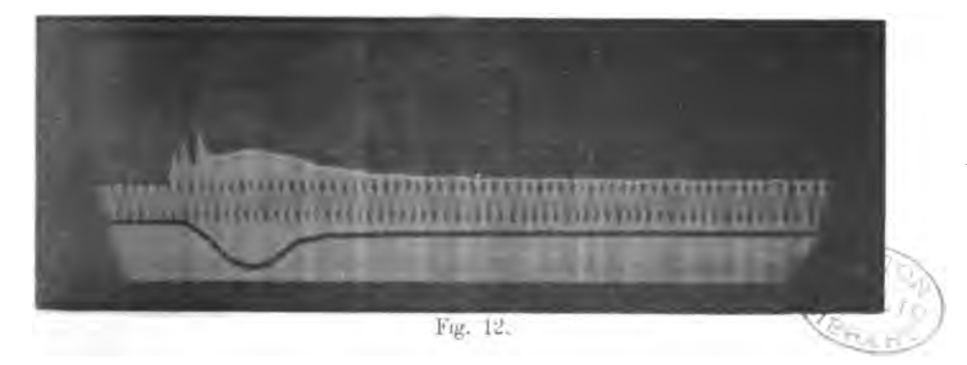
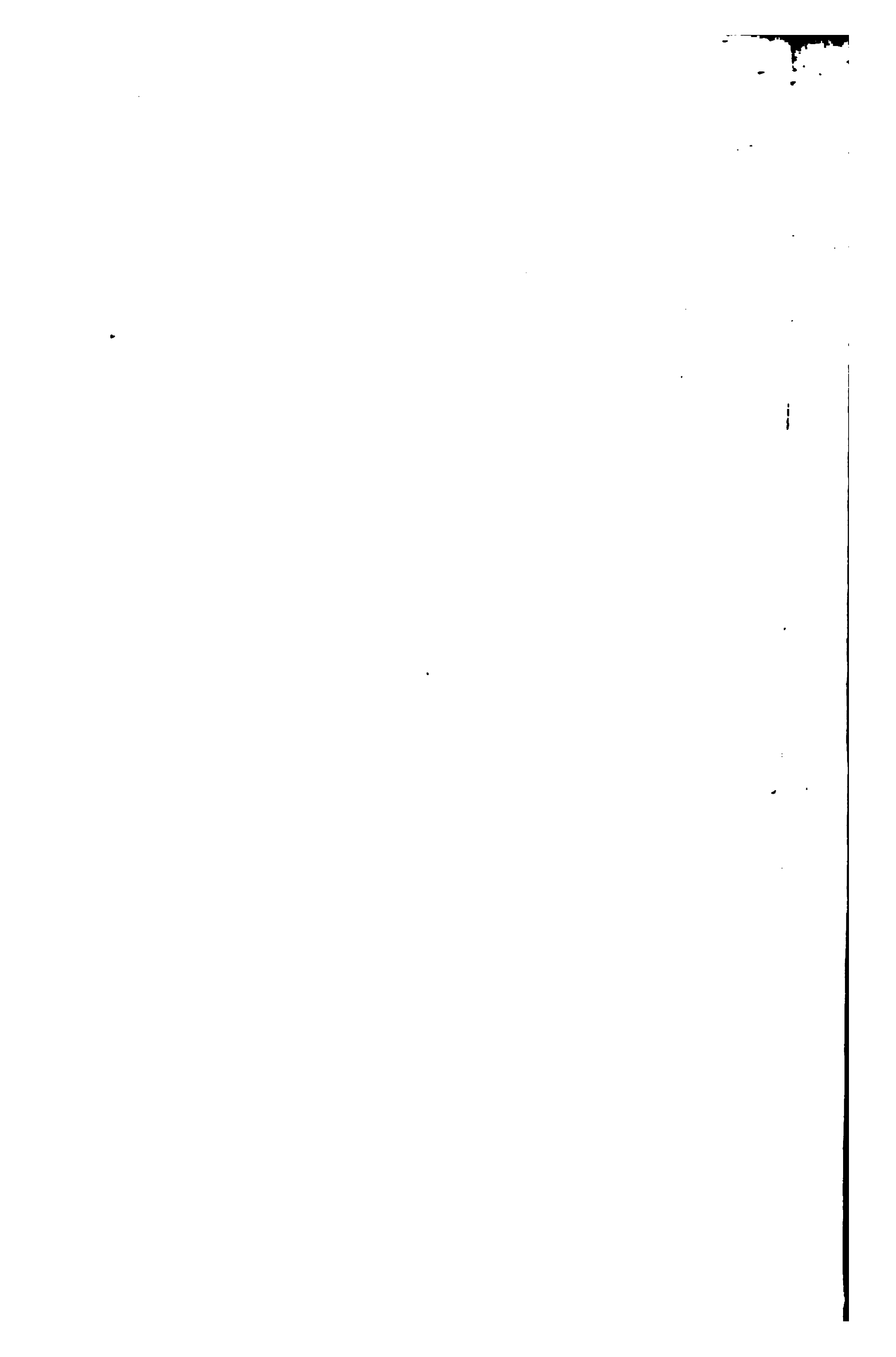


Fig. 12.

Verlag von Emil Strauss



(Aus dem physiologischen Institut der Universität Halle a. S.)

Ueber die Beziehung der negativen Schwankung des Muskelstromes zur Arbeitsleistung des Muskels.

Von

J. Bernstein und **A. Tschermak.**

(Mit 9 Textfiguren, 5 Fahnentabellen und Tafel VIII.)

Die Untersuchungen, welche bisher über die Beziehung der negativen Schwankung des Muskelstromes zur Arbeitsleistung des Muskels mitgetheilt worden sind, beantworten das Problem sowohl für Isometrie wie für Belastungscontraction des Muskels nicht in übereinstimmendem Sinne. Zudem entsprechen nur die Beobachtungen, welche Jensen[1]) im Hallenser Institute bezüglich der negativen Schwankung des Muskelstromes bei isotonischer und isometrischer Zuckung mittelst des Rheotoms ausgeführt hat, der principiellen Forderung, dass nur die auf ihr elektromotorisches Verhalten geprüfte Längsschnittstrecke des Muskels auch als arbeitende Strecke benutzt und verschiedener Spannung unterworfen wird, während alle übrigen Theile in gleichbleibender Spannung verharren. Die idealste Form des Versuches, welche die vorliegende Frage absolut entscheiden würde, bestünde darin, dass man ein isolirtes Muskelelement arbeiten liesse und zugleich sein elektromotorisches Verhalten beobachten würde. Da ein solches Element der Untersuchung nicht zugänglich ist, erscheint die von Bernstein angegebene Methode der localen Spannungsänderung oder partiellen Isotonie und Isometrie als die der idealen Forderung am nächsten kommende. — Wir hielten es daher für angezeigt, das bezeichnete Problem nach diesem Grundsatze und unter Verwendung des Capillarelektrometers

1) Ueber das Verhältniss der mechanischen und elektrischen Vorgänge im erregten Muskel. Pflüger's Archiv Bd. 77 S. 107. 1899.

neuerlich in Angriff zu nehmen. Es sei nach Darlegung der Versuchsmethodik zunächst über das Verhalten der negativen Schwankung bei partieller Isotonie und Isometrie, dann über ihr Verhalten bei wechselnder localer Belastung des Muskels berichtet.

I. Versuchsmethodik.

Vorbemerkung (von Bernstein).

In den folgenden Versuchen wurde ein Capillarelektrometer gebraucht, welches nach den Angaben von Burch und Burdon-Sanderson hergestellt war. Ich bin der Meinung, dass ein nach genauer Vorschrift sorgfältig hergestelltes Instrument, dessen angenähert logarithmische Aichungscurve — zumal bei rascher Reaction — eine angenäherte Berechnung der Stromschwankungen nach der Methode von Burch und Einthoven zulässt, sehr brauchbare Resultate liefern kann und in mancher Beziehung die mit dem Rheotom erhaltenen Resultate wesentlich ergänzen wird. Dabei hat es vor dem Rheotom den grossen Vorzug, dass es mittelst der photographischen Registrirung die Stromschwankung bei einer Einzelzuckung angibt, und dass man zugleich bequem die zugehörige Muskelzuckung mit verzeichnen kann. Ich vermag daher Hermann nicht beizustimmen, wenn er sagt, dass das Capillarelektrometer principiell nichts vor dem Galvanometer voraus habe, und dass für principielle Fragen die Ergebnisse des ersteren mit denjenigen des Rheotomverfahrens nicht concuriren können. Immerhin muss man, wie ich zugebe, bei der Analyse der Elektrometercurven strenge Kritik üben, speciell auf einer genauen Zeitschreibung bestehen — was freilich bei dem verbreiteten Gebrauche des Instruments nicht immer geschieht. Desshalb halte auch ich die Anwendung des viel sicherer

1) Das Capillarelektrometer und die Actionsströme des Muskels. Pflüger's Archiv Bd. 63 S. 440, besonders S. 450 und 451. 1896. Ueber Hermann's Theorie des Capillarelektrometers siehe auch „Ueber die Ursache des Elektrotonus". Pflüger's Archiv Bd. 38, speciell S. 158. 1896; Ueber Rheotachygraphie. Pflüger's Archiv Bd. 49 S. 539. 1891. Ferner L. Hermann und M. Gildemeister, Untersuchungen über die Eigenschaften und die Theorie des Capillarelektrometers. Pflüger's Archiv Bd. 81 S. 491. 1900. — Siehe auch Burdon-Sanderson, Ueber die Anwendung des Capillarelektrometers für das Studium der muskulären Einzelschwankung. Centralbl. f. Physiol. Bd. 12 S. 177. 1899, und The electrical response of muscle. Part II. Journal of physiology vol. 23 p. 325. 1899.

arbeitenden Rheotoms keineswegs schon für abgethan. Hätten wir ein Instrument, welches Stromschwankungen mit absoluter Genauigkeit angäbe, so würde sicherlich das Rheotom überflüssig geworden sein. Da das Capillarelektrometer diese Bedingung nicht erfüllt, so habe ich mich schon seit längerer Zeit bemüht, das Spiegeltelephon[1]) zu diesem Zwecke brauchbar zu machen. Indessen ist es mir bisher nicht gelungen, ihm die für die schwachen Muskelströme genügende Empfindlichkeit zu geben.

Eine andere Idee wäre die, die Ablenkung des Kathodenstrahles, welcher den Aenderungen eines magnetischen Feldes momentan folgt, zu diesem Zwecke zu benutzen, indem man die Ströme durch die Spule eines Elektromagneten sendet, dessen Kraftlinien senkrecht zum Kathodenstrahl gerichtet sind. Der auf dem phosphorescirenden Schirm entworfene Lichtpunkt könnte dann auf einer rotirenden Trommel photographisch zeichnen. Der Verlauf von Oscillationen an dem Kathodenstrahl ist bereits von F. Braun[2]) mit Hülfe eines rotirenden Spiegels beobachtet worden.

Versuchsanordnung.

Projectionseinrichtung. Es schien uns zweckmässig, die Capillarelektrometer-Curve in der Weise aufzuzeichnen, wie es R. du Bois-Reymond[3]) gethan hat — indem man das Bild der Capillare durch einen rotirenden Spiegel auf die Trockenplatte einer Camera wirft —, weil man bei dieser Versuchsweise im hellen oder nur halbdunklen Zimmer arbeiten kann. Wirft man hingegen das Bild auf eine rotirende Trommel oder eine bewegte Platte, wie es zuerst Burdon-Sanderson ausgeführt hat, so kann dies — mit Ausnahme des Verfahrens, welches kürzlich Einthoven[4]) mitgetheilt hat — nur im ganz dunklen Raum geschehen, was beim Arbeiten höchst unbequem ist; wenigstens muss ein gesonderter Dunkelraum für die Aufstellung und die Manipulationen an der Trommel oder Pendelplatte zu Gebote stehen.

1) Phototelephonische Untersuchung des zeitlichen Verlaufes elektrischer Ströme. Sitzungsber. der Berl. Akademie, 13. Febr. 1890, Bd. 8 S. 153.

2) Ueber ein Verfahren zur Demonstration und zum Studium des zeitlichen Verlaufes variabler Ströme. Wiedemann's Annal. d. Physik Bd. 60 S. 552. 1897.

3) Ueber den Verlauf der negativen Schwankung bei Isotonie und Isometrie. Centralbl. f. Physiol. Bd. 11 S. 33. 1897.

4) Eine Vorrichtung zum Registriren der Ausschläge des Lippmann-schen Capillarelektrometers. Pflüger's Archiv Bd. 79 S. 26. 1900.

Die von uns benutzte optische Anordnung weicht von jener R. du Bois' in folgender Weise ab. Der Spalt, welcher das Bild begrenzt, befindet sich nicht wie bei dieser in der Camera, sondern vor derselben. Durch das Objectiv (gewöhnlich Zeiss *C* verwendet) des Mikroskops *M* (ohne Ocular) wird von der senkrecht zur Papierebene gedachten Capillare *C*, welche mit ihrer Spitze in einen kleinen Trog mit planparallelen Deckglaswänden taucht, ein deutliches umgekehrtes Bild auf dem Schirme *Sch* entworfen. Vor diesem (17 cm) ist die Cylinderlinse *Cyl* (Brennweite 17 cm, Breite und Höhe 5 cm) eingeschaltet. Der senkrechte Spalt *S* (Höhe 35 mm, Breite 0,75 mm) schneidet das Mittelstück des schmalen Capillarbildes aus. Die Strahlen werden weiterhin durch die Biconvexlinse *L* (Brennweite 30 cm, Durchmesser 11 cm) vermöge der Reflexion des Stahlspiegels *Sp* (2 cm Durchmesser) auf der Platte der Kammer *K* zu einem deut-

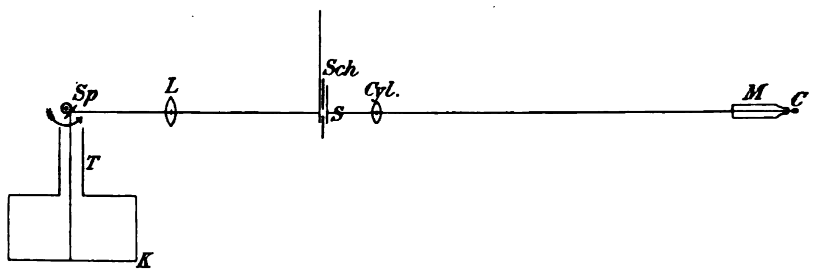


Fig. 1.

lichen aufrechten Bilde vereinigt. Der Spiegel ist an der Axe eines Kymographions befestigt. Bei Drehung derselben in der Richtung des Pfeiles wandert das Spaltbild der Capillare mit regulirbarer Geschwindigkeit über die photographische Platte. An der Stirnplatte der linsenlosen Camera ist ein 22 cm langer Tubus *T* (von 7 cm Durchmesser) angesetzt. Die Convexlinse, der Spiegel und die Camera werden zusammen durch ein schwarzes Tuch möglichst gut nach allen Seiten zugedeckt, so dass keine merkliche Menge fremden Lichtes in die Camera gelangt. Die Entfernungen betragen etwa: *CCyl* = 127 cm, *CylS* = 17 cm, *SL* = 49 cm, *LSp* = 32 cm, *SpK* (bezw. Platte) = 48 (5 + 22 + 21) cm. Bei der vorwiegend geübten Verwendung des Zeiss-Objectivs *C* (bezw. *D*, *A*) resultirt demnach (mittelst Objectivmikrometers bestimmt) eine Vergrösserung der Bewegung des Quecksilbermeniscus um das 375 (bezw. 558, 146)fache.

Die Bewegung des Meniscus, welche die negative Schwankung angibt, war in der Capillare immer nach oben (im Sinne der ver-

mehrten Oberflächenspannung) gerichtet: auf den Figuren dieser Mittheilung ist dieselbe nach oben, die Zuckungs- bezw. Dickencurve des Muskels nach unten gerichtet.

Zeitschreibung. Vor dem oberen Theile des Spaltes über der Meniscusgrenze war eine schwingende Feder angebracht, welche 1/100" markirt. Dieselbe wird durch einen kleinen Elektromagneten getrieben, durch dessen Windungen die Ströme eines auf 100 Schwingungen in der Secunde eingestellten akustischen Unterbrechers hindurchfliessen. Zwischen der mitschwingenden Feder und der Meniscusgrenze befand sich hinter dem Spalt der Zeichenhebel des Myographions, welcher mit dem Muskel verbunden ist und die Verdickung der geprüften Stelle in 4,6 bezw. 4,5facher Vergrösserung verzeichnet. — Bei neueren Versuchen verzeichnen wir nach dem Vorgange von Garten[1]) eine rechtwinklige Coordinatentheilung auf der photographischen Platte. Wir haben zu diesem Zwecke vor dem Spalte eine Glasplatte mit horizontalen Millimeter- bezw. Halbmillimeter-Theilstrichen angebracht und lassen den Spalt durch eine senkrecht gestellte, etwa 9 cm lange Feder, welche in der oben angegebenen Weise in Schwingungen versetzt wird, alle 2/100 Secunde verdecken.

Reizvorrichtung. An der Axe des Kymographions ist ein horizontaler Arm mit einem Rheotomstift angebracht, welcher die Wippe eines Helmholtz'schen Myographions umwirft, um in einem Schlittenapparat den erregenden Oeffnungsstrom zu erzeugen. Die hierzu nöthigen Vorrichtungen und Leitungen, sowie die Verbindungen vom Muskel zum Capillarelektrometer sind als bekannt in Fig. 1 nicht wiedergegeben. In den Kreis des Elektrometers war ausser dem Muskel noch ein grosser Widerstand von 10000 Siemens eingeschaltet, um den Einfluss von Aenderungen des Widerstandes im Muskel möglichst zu eliminiren. — Bei besonderen Versuchen wurden zwei leitend verbundene Rheotomstifte verwendet, von denen der eine über einen Quecksilbercontact streifte, der andere unterdessen durch Berührung und Umwerfen der Wippe einen Schliessungs- und Oeffnungsschlag in sehr rascher Folge auslöste. — Für kurze tetanische Reizung wurde die Helmholtz'sche Wippe in der Weise modificirt, dass ein Kupferscheibchen an der Wippenaxe einen

1) Ueber rhythmische elektrische Vorgänge im quergestreiften Skelettmuskel. Abhandlungen der math.-phys. Classe der Königl. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Bd. 26 Nr. 5, speciell S. 8 (336). Leipzig, Teubner 1901.

dauernden Quecksilbercontact erhält, während das Platindrahthäkchen sehr bald nach Aufheben des harten Contactes mit seinem etwas gekrümmten hinteren Ende in ein Quecksilbernäpfchen zu tauchen kommt. Durch die rasche Folge von Aufheben und Wiederkehr der Nebenschliessung der secundären Spirale fällt die ganze Reizdauer in die Zeit der Wanderung des Bildes über die photographische Platte. Die primäre Spirale kann in den Kreis des akustischen Unterbrechers (für Zeitschreibung) aufgenommen werden.

Die Aichung des Capillarelektrometers geschieht durch einen schwachen Rheochordstrom von der Ordnung der Muskelströme. Mit Hülfe einiger Schlüssel und einer Wippe ist die Anordnung so getroffen, dass zwischen Verzeichnung der negativen Schwankung und des Rheochordstromes rasch gewechselt werden kann. Im letzteren Falle dient die Helmholtz'sche Wippe am Kymographion als Nebenschliessung des Reochordstromes, so dass derselbe beim Umwerfen in das Capillarelektrometer einbricht. Die wesentliche Gleichheit der Meniscusbewegung in beiderlei Richtung wurde besonders geprüft.

Anbringungsweise des Präparates. Als Versuchsobject diente in den meisten Fällen der ausgeschnittene Adductor magnus et longus der Rana esculenta; seltener wurde der Sartorius, nur vergleichsweise gelegentlich die nicht parallelfaserigen M. semimembranosus oder gracilis major verwendet. Die Versuche wurden im Winter 1899/1900 begonnen und bis in das Frühjahr 1901 hinein fortgesetzt; alle benutzten Präparate reagirten auf den Oeffnungs-Inductionsstrom mit einer einfachen Zuckung.

Fast immer wurde vom Plexus aus gereizt, nur selten der Sartorius direct am oberen, nervenfreien Ende; curaresirte Muskeln wurden bei diesen Versuchen nicht verwendet. In der Regel benutzten wir als maximalen Reiz den Oeffnungsschlag ($RA = 10$ cm, 2 Daniell), seltener und nur der Controle halber einen sehr rasch von einem Oeffnungsschlag gefolgten Schliessungsstrom; die tetanische Reizung in der beschriebenen Anordnung kam bisher nur in einigen Versuchen zur Verwendung, die noch nicht als abgeschlossen gelten können. Die Reizelektroden befanden sich auf einem besonderen, isolirten Träger; das Nerven- bezw. Muskelende überbrückte frei die Trennungsstrecke bis zum Muskellager.

Das Präparat lag, ähnlich wie in den Versuchen von Jensen (l. c. S. 142), ungespannt in einer sehr flachen horizontalen Rinne aus Hartgummi und war an einer bestimmten Stelle, etwa 1 cm oberhalb des Querschnittendes, von einer 5 mm breiten Bandschleife

überbrückt, welche durch Vermittlung eines Häkchens und Fadens an einem Aluminiumhebel angriff, der eine lange Strohspitze trug; diese reichte, wie angegeben, bis vor den oberen Theil des Bildspaltes. Der Hebel konnte — für isometrisches Verfahren — durch eine fein regulirbare Schraubenvorrichtung in seiner bisherigen Lage festgestellt werden; andererseits konnte man ihn belasten durch Waagschale und Gewichte, welche unterhalb des Angriffspunktes des Druckbandes angebracht wurden. Ein von der Waagschale in ein Oelbad herabreichender Stern aus Deckgläschen dämpfte die Nachschwingungen [1]).

Durchwegs wurde knapp vor Beginn des Versuches ein mechanischer Querschnitt am distalen Ende des Muskels nahe der Insertion bezw. Sehne angelegt. Die eine ableitende Elektrode war durch Wollfäden mit dem die zu untersuchende Stelle deckenden, befeuchteten Druckbande, die andere durch Vermittlung eines Thonklötzchens mit dem Querschnitte in Berührung gebracht. Eine feuchte Kammer überdeckte die ganze Anordnung um das Präparat.

S p e c i e l l e B e g r ü n d u n g d e r M e t h o d e d e r l o c a l e n S p a n n u n g s ä n d e r u n g. Die geschilderte Methode der partiellen Isotonie und Isometrie, bei welcher man einerseits die Dickencurve einer bestimmten kurzen Muskelstrecke aufnimmt oder die letztere allein an der freien Contraction hindert, andererseits diese allein arbeitende Zone als Längsschnitt zur elektrischen Messung ableitet, ist von uns desshalb angewendet worden, weil nur sie über die Beziehung zwischen negativer Schwankung und Arbeitsleistung exact entscheiden lässt. Wendet man die bisher übliche, gewöhnliche Methode an, bei welcher der ganze Muskel verschiedener Spannung unterworfen wird, so kann man niemals mit Sicherheit sagen, in welchem Zustande der Spannung sich die elektrisch beobachtete Muskelstrecke zu verschiedenen Zeitpunkten der Zuckung befindet.

Nehmen wir z. B. an, dass ein 4 cm langer Muskel an einem Ende direct gereizt werde und an dem anderen Ende zum Elektrometer abgeleitet sei. Ist der ganze Muskel in der Längsrichtung festgespannt, so beginnt die Spannung in allen Querschnittelementen mindestens nach $1/100''$ merklich zu wachsen, sobald die Contraction

1) Wir entschlossen uns zu diesem Belastungsverfahren, mit dem wir allerdings die bekannten Nachtheile bezw. Schleuderungsfehler in Kauf nahmen, um bequem hohe Belastungsgrade herstellen zu können; nach der F i c k'schen Methode wären solche nur erreichbar gewesen bei sehr schweren, die Hebelaxe gefährdenden Gewichten.

an dem direct gereizten Punkte anhebt. Während sich der eine Theil des Muskels contrahirt, wird der andere, in welchem die Contractionswelle noch nicht angelangt ist, gedehnt. Eine absolute Isometrie ist also bei dieser Versuchsmethode überhaupt nicht zu erreichen, auch nicht, wenn vom Nerven aus gereizt wird. Ebenso wenig, wenn wir die Reizströme durch den ganzen Muskel gehen lassen, da die Reizstellen in beiden Fällen beschränkte sind, nämlich die Nerven-Eintrittsstellen und die Stellen der Elektroden, niemals jedoch die Muskelfasern in allen Punkten gleichzeitig gereizt werden. Bei einem 4 cm langen Muskel hat sich nun die elektrische Reizwelle erst nach etwa 0,013″ bis zur abgeleiteten Stelle fortgepflanzt. Diese befindet sich aber schon nach 0,01″ in einer wachsenden Spannung und Dehnung, und erst nach Ablauf von etwa 0,01″ + 0,013″ beginnt sie sich merklich zusammenzuziehen.

Man ersieht aus diesen Betrachtungen, dass eine wirkliche Isometrie nur möglich ist, wenn jede Formveränderung des Muskels, jede partielle Contraction und Dehnung verhindert wird. Dies kann annähernd geschehen dadurch, dass man die Verdickung des Muskels in Querrichtung unmöglich macht. Hingegen wird bei der gewöhnlichen Versuchsanordnung die abgeleitete Längsschnittstrecke nicht nur durch eine in ihr stattfindende Contraction, sondern auch durch die ausserhalb derselben ablaufenden Contractionen mechanisch beeinflusst.

II. Ueber die negative Schwankung bei isotonischem und isometrischem Verhalten des Muskels.

Literatur. Bekanntlich hat E. du Rois-Reymond[1]) zwischen der negativen Gesammtschwankung bei isotonischem und bei isometrischem Tetanus (mit dem gewöhnlichen Verfahren der Verkürzungsbehinderung) keinen augenfälligen Unterschied gefunden. Schenck[2]) erhielt bei ganz analogem Verfahren am Gastrocnemius tetanische Schwankungscurven mittelst des Capillarelektrometers, deren Endhöhe bei Isometrie geringer und deren Anstieg anscheinend sanfter war als bei Isotonie; mangels einer Zeitschreibung (überdies Geschwindigkeit der Papierbewegung bloss 25 mm pro 1″) wie einer geeigneten Aichungscurve der Capillare lassen dieselben keine Berechnung zu, welche

1) Untersuchungen über thierische Elektricität Bd. 2 Abth. 1 S. 73. 1849.

2) Ueber den Einfluss der Spannung auf die „negative Schwankung“ des Muskelstroms. Pflüger's Archiv Bd. 63 S. 317, bes. S. 328. 1896.

erst die anscheinenden Differenzen der capillarelektrometrischen Versuchscurven verificiren könnte.

Das Verhalten der negativen Schwankung bei isotonischer und bei „isometrischer“ (Verkürzungsbehinderung des ganzen Muskels) Einzelzuckung ist erst von R. du Bois-Reymond[1]), und zwar mittelst des Capillarelektrometers in besonderer Anordnungsweise (s. oben) am Gastrocnemius untersucht worden. Die photographischen Curven zeigten keine nennenswerthen Unterschiede, gestatteten aber auch nicht die erst entscheidende Berechnung[2]). Auch J. Burdon-Sanderson[3]) fand an den photographischen Curven bei isotonischer und isometrischer Zuckung curaresirter Sartorien keinen Unterschied. Dieselbe Aussage machte kürzlich F. Buchanan[4]) für die tetanische Reaction bei isotonischem unb isometrischem Verhalten des curaresirten wie des nicht curaresirten Sartorius; doch fehlen auch hier Messungsangaben für die capillarelektrometrischen Curven. — Dasselbe Problem behandelte Amaya[5]) unter Schenck's Leitung am Gastrocnemius wie an den Adductoren (bei indirecter Reizung) mittelst Rheotoms und Wiedemann'scher Boussole. Doch beschränkte er sich auf die Untersuchung des abfallenden Theiles der Schwankung, indem er 0,015″ nach der Reizung (etwas länger als das Latenzstadium unter gewöhnlichen Verhältnissen) mit 0,04″ Schliessungszeit ableitete. Er fand in 17 Gastrocnemiusversuchen:

die Schwankung bezw. deren abfallenden Theil bei Isotonie	die Schwankung bezw. deren abfallenden Theil bei Isometrie
negativ 12	{ negativ 10 (8 kleiner, 2 [wenig] grösser) positiv 2 (fehlerhafter Querschnitt S. 118)
positiv 5	positiv (grösser).
In 9 Adductorenversuchen:	
negativ 7	negativ (6 kleiner, 1 [wenig] grösser)
positiv 2	negativ

1) l. c. Vergl. auch die Bemerkungen F. Schenck's, ebenda S. 105.

2) Dasselbe gilt von einigen Vorversuchen am Capillarelektrometer, welche Birukoff im Hallenser Institut ausgeführt hat. Vergl. Le Physiologiste russe vol. 2 p. 144. 17. Oct. 1900.

3) Bericht über den IV. Physiologencongress in Cambridge. Centralbl. f. Phys. Bd. 12 S. 490. 1898 und The electrical response to stimulation of muscle. Part 2. Journal of physiology vol. 23. p. 352. 1899.

4) The electrical response of the muscle in different kinds of persistent contraction. Journ. of physiol. vol. 28 p. 95, speciell p. 134. 1901.

5) Ueber die negative Schwankung bei isotonischer und isometrischer Zuckung. Pflüger's Archiv Bd. 70 S. 101. 1898.

Wesentlich gleichlautend, doch einheitlicher sind die Ergebnisse, welche Jensen[1]) an den Adductoren (bei indirecter Reizung) mittelst Rheotoms und Galvanometers erhielt. Er fand nämlich in seiner ersten Versuchsreihe (S. 115—118) bei Verkürzungsbehinderung des ganzen Muskels — also bei der oben angedeuteten Einwirkungsweise der Muskeltheile auf einander — in 24 von 33 Versuchen die Gesammtschwankung bei isotonischer Zuckung grösser als bei isometrischer, in 9 Fällen das Umgekehrte (S. 134). Die Schwankungscurve war in beiden Fällen im aufsteigenden Stück bis zum Gipfelpunkt durchschnittlich gleich, während der Abfall bei sog. Isometrie im Allgemeinen steiler geschah und kürzer dauerte (so in 10 Versuchen, 11 indifferent, 2 umgekehrt). Hingegen ergab sich in der zweiten Beobachtungsreihe (S. 138—154) mit partieller Isometrie (also unter Ausschluss jenes störenden Factors) und directer Reizung der curaresirten Adductoren keine merkliche durchgreifende Verschiedenheit der Gesammtschwankung wie der Curvenform, speciell des abfallenden Theiles. Gegenüber diesem Ergebniss bleibt aber die Möglichkeit bestehen, dass gleichwohl eine nicht erhebliche Verschiedenheit der Schwankungsform besteht, die jedoch — abgesehen von anderen Möglichkeiten — in Folge einer Verschiedenheit des Widerstandes in beiden Fällen am Galvanometer nicht merklich werden könnte; sind doch für dieses Stromstärke-messende Instrument die jeweiligen Widerstände mit entscheidend, während für das Capillarelektrometer als Voltmeter eine Widerstandsänderung von jener Ordnung — zumal bei der gewählten Anordnung[2]) — völlig einflusslos bleibt. Am Capillarelektrometer hat bekanntlich die Grösse des Widerstandes, wenigstens bei den hier in Betracht kommenden Werthen, überhaupt keinen Einfluss auf die Ausschlagsgrösse bei Schliessung und Oeffnung eines constanten Stromes, wohl aber einen solchen auf die Geschwindigkeit der Meniscusbewegung. Die Aufnahmen der negativen Schwankung unter verschiedenen Bedingungen sind dem zu Folge nach Berechnung zwar unter sich vergleichbar, und darauf ruht das Hauptgewicht unserer Untersuchung. Um aber — bei directer Reizung, zur Vermeidung später zu schildernder Complicationen — verlässliche Schlüsse auf den zeitlichen Ablauf der negativen

1) l. c.

2) Es war, wie oben erwähnt, ein Widerstand von 10000 Siemens in den Muskelkreis mit aufgenommen.

Schwankung, speciell auf das Verhältniss zur Muskelcontraction ziehen zu dürfen, müssten vor Allem die Widerstände bei Ableitung vom Muskel und bei der Aichung der Capillare thunlichst gleich gehalten werden; bei späteren, einen anderen Gegenstand betreffenden Versuchen suchten wir dies dadurch zu erreichen, dass wir den Muskelstrom selbst zur Aichung benutzten. — Aus dem zuerst angeführten Grunde, sowie in Folge der Möglichkeit, einzelne Schwankungen in ihrem ganzen Verlaufe zu vergleichen, erscheint das Capillarelektrometer zur weiteren Aufklärung jener Frage principiell geeigneter.

Uebersicht unserer Versuche. In unseren Versuchen wurde immer die Aufnahme der Schwankung bei partieller Isometrie zwischen zwei Beobachtungen der Schwankung bei isotonischem Verhalten unter Hebelbelastung eingeschoben. Die Pausen zwischen zwei Einzelversuchen betrugen etwa 1 Minute. Eine tabellarische Uebersicht einer Reihe von Versuchsergebnissen und deren Berechnung findet sich als Theil I im Anhang. Die dort in extenso mitgetheilten Protokolle beschränken sich auf Versuche, welche an den vom Plexus aus gereizten Adductores magn. et long. vorgenommen wurden. Aus der grösseren Zahl solcher Versuche haben wir die angeführten acht zur genaueren Auswerthung als Beispiele ausgewählt. In den übrigen Versuchen an den Adductoren, ebenso in jenen an dem vom Plexus aus gereizten Semimembranosus und Gracilis (soweit nicht die Folgen von deren unregelmässigem Bau Störungen bedingen; s. unten), desgleichen in den Versuchen an direct gereizten Sartorien scheint das Verhalten wesentlich das gleiche zu sein. Aus dem am Schlusse mitgetheilten Material lassen sich folgende Gesammtresultate entnehmen.

Im aufsteigenden Theil lässt die negative Einzelschwankung in den beiden behandelten Fällen begreiflicher Weise keinen durchgreifenden Unterschied erkennen. Bezüglich der höchsten unter den berechneten Ordinaten, welche allerdings keineswegs ohne Weiteres als der wirkliche Gipfel der Curve genommen werden kann (Messung bloss einzelner Ordinaten, Aichungscurve nur angenähert logarithmisch, Berechnungsweise überhaupt nur angenähert gültig!), ist aus der nachstehenden Uebersicht zu ersehen, dass dieselbe in zwei Fällen von Isometrie höher, in sechs etwas tiefer lag als das Mittel aus den beiden isotonischen Nachbarcurven. Da aber das Maximum der berechneten Werthe in den Versuchen H.—O. in das

mechanische Latenzstadium und nur in den Versuchen B.—F. bereits in das Stadium der Form- bezw. Spannungsänderung des Muskels fällt, scheint das Ueberwiegen der geringeren Maximalwerthe für die isometrischen Curven, speciell in den Versuchen H., L., N., O. ein Zufall zu sein. Auch in den Fällen B.—F. dürfte übrigens das wirkliche Schwankungsmaximum in das Latenzstadium fallen[1]. Nur unter dieser Reserve sei die Fig. 4 (Verhalten der negativen Schwankung und der Verdickung nach *Isot I* des Versuches B) gegeben. Dass — wenigstens im einzelnen Muskelelement — einerseits der grösste Theil der negativen Schwankung überschritten ist, bevor eine Spur von Zuckung nachzuweisen ist, andererseits die Schwankung während der Formveränderung bezw. Arbeitsleistung erst rasch, dann langsam absinkend nachdauert, hat Bernstein nachdrücklich betont[2].

Tabelle I.

Versuch	Maximum der berechneten Schwankung	
	bei Isotonie	bei Isometrie
B.	100 %	108,9 %
E.	100 %	98,2 %
F.	100 %	96,0 %
H.	100 %	93,5 %
L.	100 %	90,3 %
M.	100 %	102,3 %
N.	100 %	97,8 %
O.	100 %	85,9 %

Der Vergleich des abfallenden Theiles der negativen Einzelschwankung bei Isotonie und bei partiell isometrischem Verhalten des Muskels scheint mit ausreichender Deutlichkeit in der Mehrzahl der Fälle eine Unterwerthigkeit der isometrischen Curve, also einen steileren Abfall derselben zu ergeben. Aus diesem Verhalten ist wohl auf eine kürzere Dauer der negativen Schwankung im genannten Falle zu schliessen. Die nachstehende Tabelle und die graphische Darstellung des Versuches *B* mögen dies näher illustriren; die photographischen Curven 1 und 2 desselben sind als Fig. 1 und 2 auf Tafel VII reproducirt.

1) Vergl. die Einschränkungen, welche sich aus den Bemerkungen auf der vorigen Seite ergeben.

2) Untersuchungen über den Erregungsvorgang u. s. w. S. 58. Heidelberg 1871. — Untersuchungen aus dem physiologischen Institut Halle 1888 S. 97. — Pflüger's Archiv Bd. 67 S. 349. 1897.

Tabelle II.

Vergleich der berechneten Ordinaten des abfallenden Theiles der Schwankung bei Isometrie gegenüber Isotonie.

Versuch					
B.	14 unter,	0 unter Mittel;	1 über Mittel,	0 über	(unterwerthig)
E.	0 „	0 „ „	4 „ „	1 „	(überwerthig)
F.	7 „	3 „ „	1 „ „	1 „	(unterwerthig)
H.	6 „	4 „ „	1 „ „	1 „	„
L.	1 „	6 „ „	1 „ „	0 „	„
M.	4 „	2 „ „	2 „ „	0 „	„
N.	1 „	1 „ „	2 „ „	1 „	(kaum überwerthig)
O.	0 „	3 „ „	0 „ „	3 „	„
	52 unterwerthige,		19 überwerthige Ordinaten.		

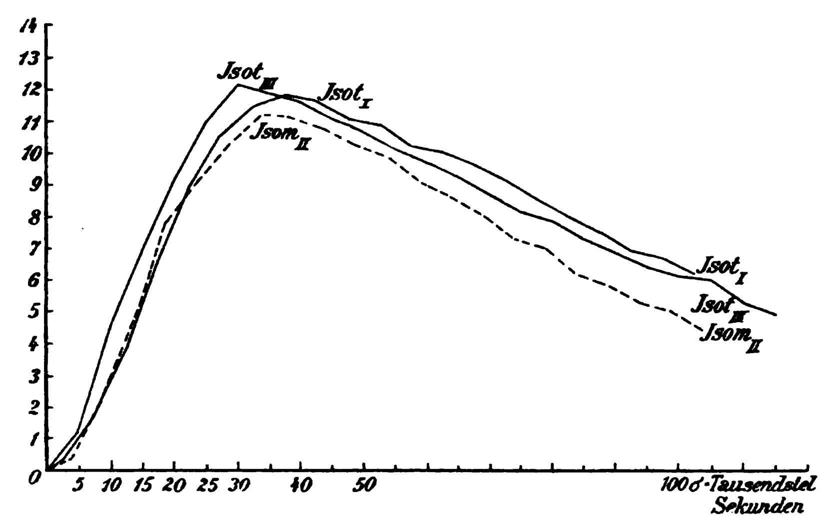


Fig. 2. Curven der gemessenen Werthe für die negative Schwankung bei isotonischem (*Isot I*, *Isot III*) und bei isometrischem (*Isom II*) Verhalten des Muskels. (Versuch B.)

Unsere vergleichenden Beobachtungen an isotonischem und isometrischem Tetanus sind noch nicht abgeschlossen: in den nicht sehr zahlreichen Versuchen dieser Art war die Endhöhe der Schwankung bei Isometrie niedriger, und scheint der durchschnittliche Anstieg der photographischen Curve minder steil zu erfolgen als bei Isotonie. Als Beispiele seien (Fig. 10 u. 11 auf Tafel VIII) zwei Schwankungsbilder bei geringer Reizfrequenz (20 pro 1″) mitgetheilt. Die Anfangseinzelschwankung scheint in beiden Fällen in gleicher Form anzusteigen, im Falle von Isometrie aber steiler abzufallen, so dass der Fusspunkt der zweiten, ebenso der folgenden Einzelschwankungen

tiefer zu liegen kommt und eine geringere Endhöhe resultirt. Allerdings müsste erst die Berechnung der Curvenbilder diese Vermuthung für den wirklichen Schwankungsverlauf verificiren.

Unsere Befunde stehen demnach in Einklang mit der von Schenck ausgesprochenen Vermuthung, dass die Einzelschwankung bei isometrischem Verhalten des Muskels einen steileren und kürzerdauernden Abfall aufweise wie bei isotonischem. Allerdings war

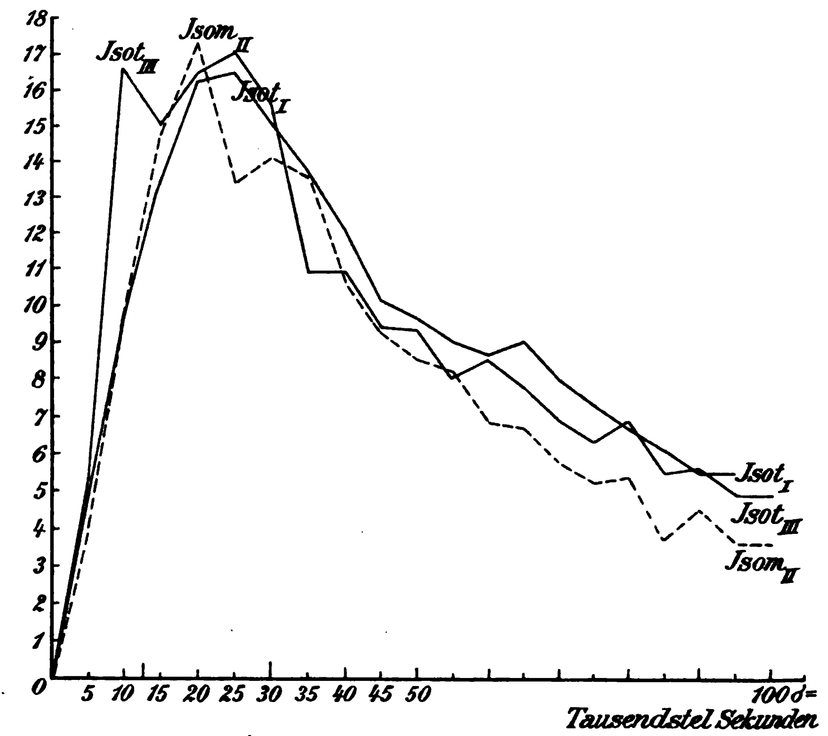


Fig. 3. Curven der berechneten Werthe (mit gleichen Intervallen) für die negative Schwankung bei isotonischem (*Isot I*, *Isot III*) und bei isometrischem (*Isom II*) Verhalten des Muskels. (Versuch B.)

deren experimentelle Erhärtung durch die Versuche von Amaya nicht genügend eindeutig und durch die Anwendung von sog. Isometrie des ganzen Muskels in Frage gestellt. Ergaben doch die Beobachtungen Jensen's mit sog. totaler Isometrie ein für die Ansicht Schenck's positives Resultat, jene mit partieller Isometrie hingegen ein negatives. Der Grund dafür, dass der bei einwandsfreiem isometrischen Verfahren gleichwohl bestehende Unterschied, den uns das Capillarelektrometer anzuzeigen scheint, bei den

Rheotom-Galvanometer-Versuchen Jensen's nicht festzustellen war, wurde schon oben angedeutet. — Auch bezüglich des isometrischen Tetanus weisen unsere Ergebnisse nach derselben Richtung wie die einschlägigen Untersuchungen Schenck's. Doch wird erst die Weiterführung und Berechnung der capillarelektrometrischen Versuche die definitive Entscheidung bringen.

Die theoretische Bedeutung unserer Daten soll später im Zusammenhang mit der Discussion der Belastungsversuche erörtert werden.

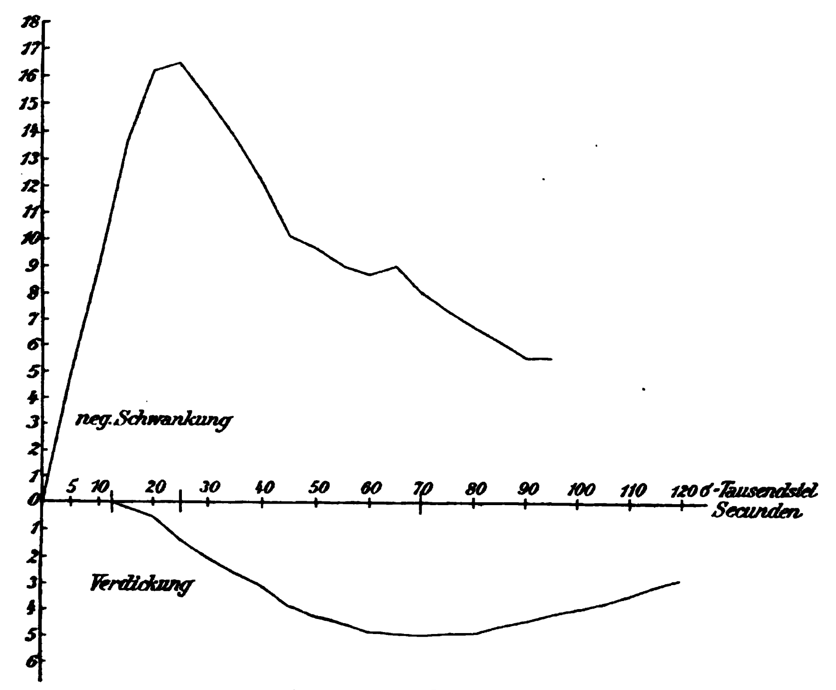


Fig. 4. Berechnete Curve der negativen Schwankung und Curve der Verdickung des Muskels. (*Isot I* von Versuch B.)

III. Ueber die negative Einzelschwankung bei isotonischer Zuckung des Muskels im unbelasteten und im belasteten Zustande.

Literatur. Meissner und Cohn, sowie E. du Bois-Reymond haben bekanntlich Abnahme der negativen Gesammtschwankung bei tetanischer Erregung des gedehnten Muskels angegeben. Bei Einzelzuckung unter verschiedener Belastung zeigte die Schwankung in den Rheotomversuchen Lamansky's[1]) am Gastrocnemius eine

1) Die negative Stromesschwankung des arbeitenden Muskels. Pflüger's Archiv Bd. 3 S. 193. 1870.

zunehmende Gipfelerhöhung [bezw. Zunahme des anscheinend breit ausgeschnittenen Mittelstückes der Curve [1])] mit steigender Dehnung; über ein gewisses Maximum hinaus wurde die Gipfelerhöhung geringer. Doch überzeugte sich der genannte Beobachter auch davon, dass sich die Erhöhung der Belastungsschwankung nicht auf die Gipfelregion beschränke, sondern auch an anderen Ausschnittstellen der Curve bestehe; er schloss daher auf einen grösseren Flächenraum der ganzen Curve (S. 201). Auch ein Versuch mit Gipfelerhöhung bei Tetanus wird mitgetheilt (S. 195, 3. Reihe). Mit Lamansky's Befund steht die Beobachtung von Brown-Séquard (1860), Meissner (1862), E. du Bois-Reymond (1873. Ges. Abh. II. S. 472) und Biedermann [2]) in Einklang, der zu Folge vom gespannten Gastrocnemius oder Sartorius aus leichter eine secundäre Zuckung zu erhalten ist als vom ungespannten.

Schenck [3]) sah in einigen Versuchen am tetanisirten Gastrocnemius, aber keineswegs regelmässig, die scheinbare Höhe der Einzelschwankungen am Capillarelektrometer während einer Dehnung zunehmen, den scheinbaren Gesammtbetrag der Schwankungen aber abnehmen (S. 333). Dass ein solches Verhalten der wirklichen Werthe zwar möglich, aber durch die von Schenck zumal am Gastrocnemius gewonnenen Curven nicht sicher erwiesen ist, hat Bernstein (S. 358) betont.

Bernstein führte seine Untersuchung [4]) dieses Gegenstandes an den parallelfaserigen Adductoren (Reizung vom Plexus aus) aus, nachdem sich der Gastrocnemius als ungeeignet erwiesen hatte. Er kam unter Verwendung des Galvanometers zu dem Resultate, dass an der Einzelschwankung bei zunehmender Belastung nicht bloss die Gipfelhöhe, sondern auch die Grösse oder das Integral der Schwankung wächst. Andererseits zeigte die Gesammtschwankung im Tetanus bei zunehmender Belastung meistens Abnahme, seltener Zunahme: Fälle der letzteren Art liegen offenbar der älteren Angabe von Meissner und Cohn zu Grunde, dass vom gespannten Muskel aus leichter secundärer Tetanus zu erhalten ist als vom ungespannten. — Die Kraft des Ruhestromes zeigte in Bernstein's

1) Vergl. J. Bernstein, Pflüger's Archiv Bd. 67 S. 359 Anm. 1.

2) Beiträge zur allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie. XI. Mittheilung. Sitzungsber. der Wiener Akad. d. Wissensch. Bd. 87 H. 3 S. 66. 1883.

3) Pflüger's Archiv Bd. 63 Abschnitt 5 S. 333.

4) Pflüger's Archiv Bd. 67. Cap. 2 S. 357.

Versuchen erst bei relativ hohen Belastungsgraden eine merkliche Abnahme. — Ebenso constatirte P. Rivière[1]) bei capillarelektrometrischen Versuchen am Gastrocnemius ein Wachsen des doppelsinnigen Actionsstromes mit der Grösse des gehobenen Gewichts.

Im Gegensatze zu diesen Befunden kam Burdon-Sanderson[2]) bei Prüfung der capillarelektrometrischen Photogramme (Messungsangaben fehlen) zu dem rein negativen Resultate: „Der curaresirte Sartorius kann sehr verschiedenen Veränderungen von Spannung und Form (Belastung des ganzen Muskels bloss von 0,5 bis 15 g variirt) unterworfen werden, ohne eine wesentliche Veränderung der elektrischen Reaction auf Reizung (Einzelschwankung) zu zeigen." Zu derselben Aussage kommt F. Buchanan[3]) für tetanische Reaction, sei es, dass der Muskel bloss mit 10 g oder selbst so stark belastet war, dass er sich überhaupt nicht verkürzen konnte.

Schon Lamansky[4]) hatte bei verschiedenen Graden von Ueberlastung — also ohne dass der Zustand des Muskels von vorneherein durch Dauerbelastung geändert war — keine durchgreifende Verschiedenheit der negativen Schwankung gefunden und daher die während der Contraction eintretende Spannungsänderung (trotz der consecutiven Aenderung der Arbeitsleistung) als einflusslos für die Grösse der Schwankung bezeichnet. — Dasselbe Problem hat F. Fleischer[5]) unter der Leitung Schenck's behandelt an den vom Plexus aus gereizten Adductoren, welche an einem von Schenck angegebenen Indicator angriffen. Er fand die Gesammtschwankung am Galvanometer bei verschiedenen Graden von Ueberlastung im Allgemeinen gleich gross, trotz der verschiedenen Arbeitsleistung. Fleischer schliesst daraus, dass die nach Schenck zu vermuthende Abnahme des abfallenden Theiles an den Ueberlastungsschwankungen (in Folge der Spannungszunahme während der Contraction) vermuthlich untermerklich geblieben sei.

1) Variations électriques et travail mécanique du muscle. Travaux des labor. de la stat. zool. d'Arcachon. 1898. p. 1—42. Taf. 5—10. Das Original blieb uns leider unzugänglich; citirt nach Hermann's Jahresber. der Phys. Bd. 9 S. 20. 1901.

2) Journ. of physiol. vol. 23 S. 325.

3) l. c. S. 134.

4) l. c. S. 201.

5) Ueber einen neuen Muskelindicator und über die negative Schwankung des Muskelstroms bei verschiedener Arbeitsleistung des Muskels. Pflüger's Archiv Bd. 79 S. 360. 1900.

Uebersicht unserer Versuche. Unsere hier mitzutheilenden Beobachtungen betreffen die Einzelschwankung des Muskelstromes bei isotonischer Zuckung im unbelasteten und im partiell belasteten Zustande. Die Belastungsmethode durch Vermittelung eines Druckbandes wurde eingangs genauer geschildert. Die Belastung wurde kurz vor Beginn des betreffenden Einzelversuches vorgenommen und gleich nach dessen Beendigung aufgehoben. Häufig hatte der Eintritt der localen Belastung einen mässigen Anstieg des Muskelstromes zur Folge, doch war auch oft keine Wirkung zu bemerken: in einzelnen Fällen schien sogar eine geringe Abnahme einzutreten. Genaueres müssen erst besondere bezügliche Versuche lehren. Die Pause zwischen den einzelnen Versuchen betrug (wo nicht anders vermerkt) 1—2 Minuten. Durchwegs wurde ein Belastungsversuch zwischen zwei Aufnahmen ohne Belastung eingeschoben, deren Mittelwerthe an Schwankung und Arbeit zum procentualen Vergleiche mit den Werthen des Belastungsversuches dienten (Columne II und IV der Tabellen). Wir gingen im Allgemeinen von niederen Graden localer Belastung sprungweise zu höheren (50, 100, 150, 200, 300 g) und wieder zurück.

Eine tabellarische Uebersicht einer Reihe von Versuchsergebnissen und deren Berechnung bildet den II. Theil des Anhanges dieser Mittheilung. Die ausführlich gegebenen Protokolle betreffen 10 beispielsweise ausgewählte Versuche an indirect maximal gereizten Adductoren. Es sind neben den gemessenen Ordinaten die berechneten, auch die auf gleiche Intervalle umgerechneten mitgetheilt: die wirkliche Zuckungs- bezw. Verdickungshöhe, die mechanische Arbeit und die mechanische Latenz (vom Beginne der negativen Schwankung bis zu jenem der Zuckung) sind gleichfalls registrirt. In den übrigen Versuchen gleicher Art, sowie in jenen am Semimembranosus, Gracilis und am direct gereizten Sartorius scheinen ganz analoge Daten vorzuliegen. — Unsere Versuche über das Verhalten bei tetanischer Erregung sind noch nicht abgeschlossen.

Die berechneten Curven ergeben Folgendes. Die Höhe des Gipfels der Einzelschwankung nimmt im Belastungszustande zu, und zwar fällt dieser Zuwachs bei steigender Belastung zuerst immer grösser aus bis zu einem bestimmten Optimum, dann kleiner. Endlich scheint geradezu eine Abnahme der Schwankung im belasteten Zustande einzutreten (Versuch G., L.). Die Lage des Optimum (sowie des Indifferenzpunktes) hängt natürlich vom jeweiligen Ernährungs-

und Ermüdungszustande ab und wechselt demgemäss in den einzelnen Versuchen, aber auch im Verlaufe eines und desselben Versuches. Im Allgemeinen liegt sie um 150 g Localbelastung. Diese Schlüsse seien durch die nachstehende procentuale Vergleichsübersicht begründet; allerdings ist die höchste der berechneten Ordinaten nur als ein ungefährer Ausdruck der Höhe des wirklichen Gipfels anzusehen; speciell ist daraus dessen Lage nicht genau ablesbar (vgl. oben S. 299 u. 300). — Specielles Interesse verdient die Frage nach dem Verhalten zwischen Schwankungshöhe und Arbeitsgrösse. Unsere Beobachtungen berechtigen zu dem Schlusse, dass anfangs beide zugleich wachsen, die mechanische Arbeit relativ weit rascher, dass aber die Schwankungshöhe früher ihr Maximum erreicht als die Arbeit. Dies ist deutlich in den Versuchen C., F., H., M., N., O.; dass, wie in den Versuchen B., E., G., L. bei den relativ grossen Sprüngen für beide auf derselben Stufe ein höchster Werth gefunden wurde, ist nicht verwunderlich. In keinem Falle aber sahen wir eine umgekehrte Lage der Maxima[1]). Auf die interessante Analogie dieser Beziehung zu dem Verhalten von Wärmemaximum und Arbeitsmaximum wird später eingegangen werden. — Es muss dahingestellt bleiben, ob ebenso wie der Anstieg auch der Abfall der Curve, welche wir uns für die Schwankungshöhen bei zunehmender Belastung denken können, weniger steil erfolgt als bei der Curve für die Arbeitsgrössen: im Versuche O. ist die Schwankung bei 200 und 300 g noch erhöht, die Arbeit schon auf die Hälfte vermindert, im Versuche F. 200, L. 50 und L. 200 hingegen die Schwankung wenig vermindert (wenigstens das gemessene Maximum), die Arbeit aber noch erhöht.

(Siehe Tab. III S. 308.)

Durchweg geschieht der Abfall der Belastungsschwankungen von dem erhöhten Gipfel relativ steiler als der Abfall vom Gipfel im unbelasteten Zustande. Gleichwohl bleiben in der Mehrzahl der Fälle (25 von 40 genauer studirten) die Ordinaten höher als die Mittelwerthe aus den Nachbarcurven ohne Belastung, bleiben also „überwerthig". Andererseits kommen aber neben vier Fällen von Indifferenz elf solche von unterwerthigem Verhalten vor — wie dies

1) Aus einem Versuche Lamansky's (4. Reihe, S. 195) — bei 180 g Schwankung 97 bezw. 78, Arbeit 1350 bezw. 135; bei 340 g Schwankung 64 bezw. 54, Arbeit 2210 bezw. 170 — ist wohl ein gegentheiliger Schluss nicht abzuleiten.

Tabelle III: Belastung.

Versuch		19,3 g B.-G. 19,9 g H.-O.	+ 50 g	+ 100 g	+ 150 g	+ 200 g	+ 300 g
B.	neg. S. mech. A.	100 % 100 % →[1]	— →	112,1 % 249,8 % →	— →	**126,8 %** **624 %**	→ 114,4 % 482,3 %
						103 % 295,8 %	←
C.	neg. S. mech. A.	100 % 100 % ←	— ←	151,3 % 180,4 % ←	— ←	**235,7 %** 248,3 %	← 194 % **381,9 %**
E.	neg. S. mech. A.	100 % 100 % →	— →	**142,5 %** 171,7 % →	— →	—	→ 125,1 % 155,1 %
				276 % **211,3 %** ←	— ←	143,9 % 138,5 %	←
F.	neg. S. mech. A.	100 % 100 % →	— →	106 % 309,1 % →	— →	95,7 % 270,9 %	→ 110 % **459,5 %**
				117 % 317,6 % ←	— ←	98,1 % 240 %	←
G.	neg. S. mech. A.	100 % 100 % →	— →	**161,7 %** **202,7 %** →	— →	105,2 % 59,3 %	→ 111,3 % 53,4 %
				262,6 % ..... ←	— ←	97,6 % 100,3 %	←
H.	neg. S. mech. A.	100 % 100 % →	— →	**119,7 %** 261,8 % →	— →	116,5 % 319,5 %	→ 104,3 % **480,5 %**
				94,1 % 233,6 % ←	— ←	108 % 246,5 %	←
L.	neg. S. mech. A.	100 % 100 % →	93,8 % 227 % →	103,7 % 270,1 % →	**118,8 %** **411,2 %** →	98,3 % 379,8 %	
			80,8 % 105,2 % ←	— ←	—	←	
M.	neg. S. mech. A.	100 % 100 % →	**109,6 %** 251,8 % →	100,8 % **288,4 %** ↓			
			156,2 % 195,3 % ←	97,6 % **297,3 %**			
N.	neg. S. mech. A.	100 % 100 % →	112,1 % 212,5 % →	131,4 % 339,5 % →	**155,5 %** 230,5 % →	104,9 % **396,4 %**	
					110,7 % 306,4 %	←	
O.	neg. S. mech. A.	100 % 100 % →	110,9 % 205,6 % →	**133,1 %** 211,8 % →	110,8 % 262,2 % →	113,5 % **406,5 %**	
			111,8 % 360,1 % ←	103,7 % 344,2 % ←	116,5 % 474,3 % ←	104,9 % 376,9 %	

1) Die Pfeile bezeichnen die Aufeinanderfolge der Versuche. Die unbelasteten Nachbarn jedes einzelnen Belastungsversuches sind nicht besonders verzeichnet; ihr Durchschnittswerth bildet — als 100 % genommen — die Vergleichsbasis für den Werth des einzelnen Belastungsversuches.

Tabelle IV.

Vergleich der berechneten Ordinaten des abfallenden Schwankungstheiles bei Belastung und ohne Belastung (Hebelbelastung).

Versuch	50 g	100 g	150 g	200 g	300 g
B.	—	→ überwerthig (2+11 0+8)[1]	→ —	→ überwerthig (2+7 4+1)	→ überwerthig (9+2 1+1)
	—	← —	← —	← **unterwerthig** (3+1 2+8)	← —
C.	—	→ —	→ —	→ —	→ überwerthig (11+0 0+0)
	—	← überwerthig (1+7 5+1)	← —	← überwerthig (10+0 0+0)	← —
E.	—	→ überwerthig (6+0 0+1)	→ —	→ —	→ indifferent (3+0 0+3)
	—	← überwerthig (7+0 0+0)	← —	← überwerthig (7+0 0+0)	← —
F.	—	→ **unterwerthig** (1+1 3+2)	→ —	→ überwerthig (4+2 1+2)	→ überwerthig (4+1 1+2)
	—	← überwerthig (6+3 0+0)	← —	← **unterwerthig** (1+2 3+1)	← —
G.	—	→ überwerthig (11+0 0+0)	→ —	→ überwerthig (4+1 1+0)	→ **unterwerthig** (1+1 0+3)
	—	← **unterwerthig** (0+0 0+2)	← —	← überwerthig (2+4 1+0)	← —
H.	—	→ **unterwerthig** (0+0 2+6)	→ —	→ **unterwerthig** (2+0 0+6)	→ überwerthig (4+1 1+2)
	—	← **unterwerthig** (0+1 2+5)	← —	← **unterwerthig** (1+0 1+5)	← —
L.	überwerthig (2+4 2+0)	→ überwerthig (6+2 0+0)	→ überwerthig (3+3 1+0)	→ überwerthig (5+0 0+4)	→ —
	unterwerthig (0+1 1+3)	← —	← —	← —	← —
M.	überwerthig (4+1 2+0)	→ überwerthig (4+1 0+0)	→ —	→ —	→ —
	indifferent (0+1 1+0)	← indifferent (2+0 1+1)	← —	← —	← —
N.	überwerthig (5+0 0+0)	→ indifferent (1+1 2+0)	→ überwerthig (3+0 0+0)	→ überwerthig (1+1 1+0)	→ —
	—	← —	← überwerthig (2+0 0+0)	← —	← —
O.	überwerthig (4+0 1+0)	→ überwerthig (4+0 0+1)	→ **unterwerthig** (1+0 2+2)	→ überwerthig (4+1 1+0)	→ —
	überwerthig (5+0 0+1)	← überwerthig (0+5 1+0)	← überwerthig (4+0 0+2)	← überwerthig (3+3 0+0)	← —

Summe: überwerthig 25 Fälle, indifferent 4 Fälle, unterwerthig 11 Fälle.

1) Von den eingeklammerten Zahlen trägt die erste den Index „über“, die zweite „übermittel“, die dritte „untermittel“, die vierte „unter“.

die Tabelle IV genauer illustrirt. — Die Dauer der Belastungsschwankung dürfte bei Ueberwerthigkeit grösser, bei Unterwerthigkeit kleiner sein als jene der Schwankung im unbelasteten Zustande. Das Flächenintegral der Einzelschwankung im Belastungszustande scheint in allen von uns beobachteten Fällen mit erhöhtem Gipfel auch in jenen von Unterwerthigkeit des abfallenden Theiles deutlich grösser zu sein als die Gesammtgrösse des Mittels aus den unbelasteten Nachbarn. Damit sei nicht die Möglichkeit eines gegentheiligen Verhaltens, zumal bei Tetanus, bestritten.

(Siehe Tab. IV S. 309.)

Die negative Schwankung im Belastungszustande des Muskels zeigt demnach im aufsteigenden Theil und in der Gipfelregion Erhöhung, im absteigenden Theile daneben die Tendenz zur Erniedrigung, welche sich in relativ geringerer Erhöhung, in Indifferenz, ja selbst in directer Erniedrigung zeigen kann. Für das bezügliche Verhalten des einzelnen Falles ist wohl in erster Linie der Ernährungs- und Ermüdungszustand des Muskels maassgebend. Eine eindeutige Beziehung zwischen Belastungsgrösse und Abfallmodus (Steilheit, Lage des Wendepunktes der Curve) ist unseres Erachtens aus den angegebenen Resultaten, zumal bei der mangelnden Stetigkeit der berechneten Curven, nicht abzuleiten. Ebensowenig ergibt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Grösse der mechanischen Arbeit und dem Grade der Steilheit, mit welcher der Abfall erfolgt; immerhin kann man an der Hand der Curven (vgl. speciell die nachstehenden Fig. 5 und 6 nach Versuch C., sowie die Reproduction der photographischen Curven 1—7 als Fig. 3—9 auf Tafel VIII) vermuthen, dass die Steilheit mit der Arbeit wächst und in der Nähe des Arbeitsoptimum gleichfalls ihr Maximum erreicht.

Die obige Feststellung entspricht insofern den Annahmen Schenck's, als derselbe eine (allerdings in der Minderzahl unserer Fälle zutreffende) Unterwerthigkeit des abfallenden Theiles der Belastungsschwankung vermuthet hat (s. speciell seine Fig. 1 auf S. 324 Pflüger's Archiv Bd. 63), nicht aber entspricht sie seiner Vermuthung, dass grössere Spannung den Anfangstheil der Schwankung zwar vergrössert, den Endtheil aber soweit verkleinert, dass die Gesammtschwankung kleiner wird (Pflüger's Archiv Bd. 70. S. 122). Hingegen stimmen unsere Ergebnisse vollständig überein mit jenen der früheren Versuche Bernstein's, denen zu Folge das Flächen-

integral der Einzelschwankung, nicht bloss die Gipfelhöhe bei Belastung wächst: die nach Bernstein bald zunehmende, bald abnehmende Gesammtgrösse der tetanischen Schwankung lässt speciell auf ein wechselndes Verhalten des abfallenden Theiles der einzelnen

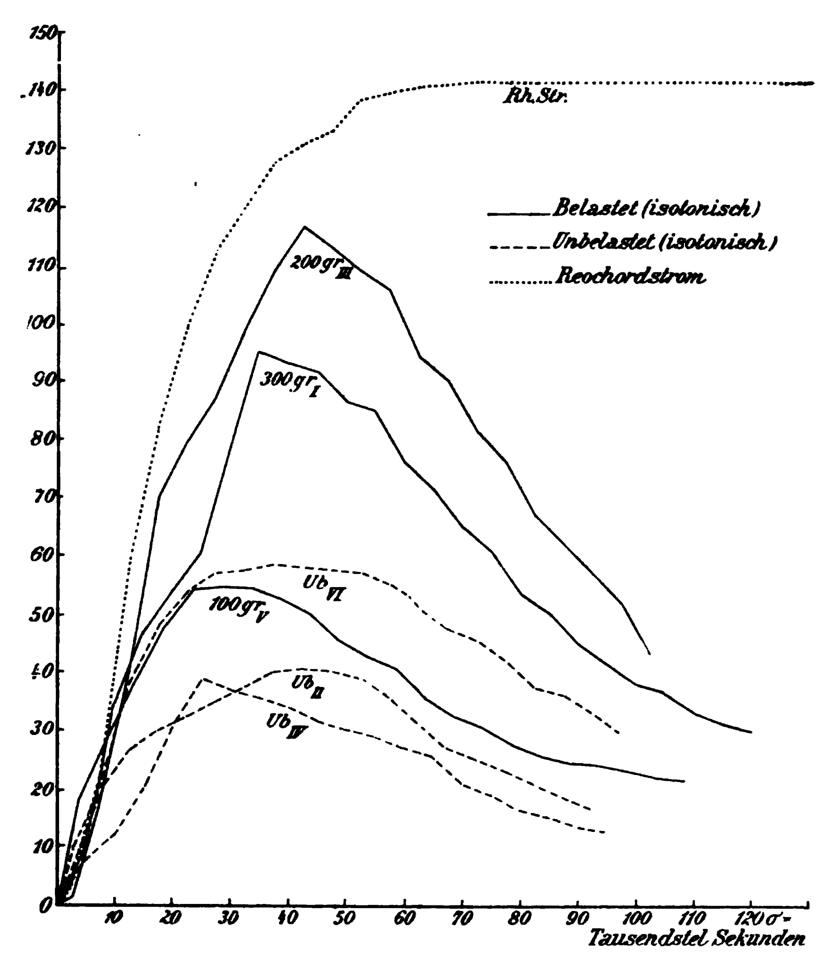


Fig. 5. Negative Schwankung bei verschiedener localer Belastung (und isotonischer Zuckung). Gemessene Curven. (Versuch C.)

Schwankungen von Ueberwerthigkeit bis Unterwerthigkeit schliessen (S. 371—372).

Anhangsweise sei die Mehrgipfeligkeit der meisten berechneten Curven bezw. die complicirte Form der meisten registrirten Schwankungsbilder vom Adductorenpräparat kurz erörtert. Bekannt-

lich hat schon Burdon-Sanderson[1]) am unregelmässig gebauten Gastrocnemius mit Querschnitt, nicht so am parallelfaserigen Sartorius,

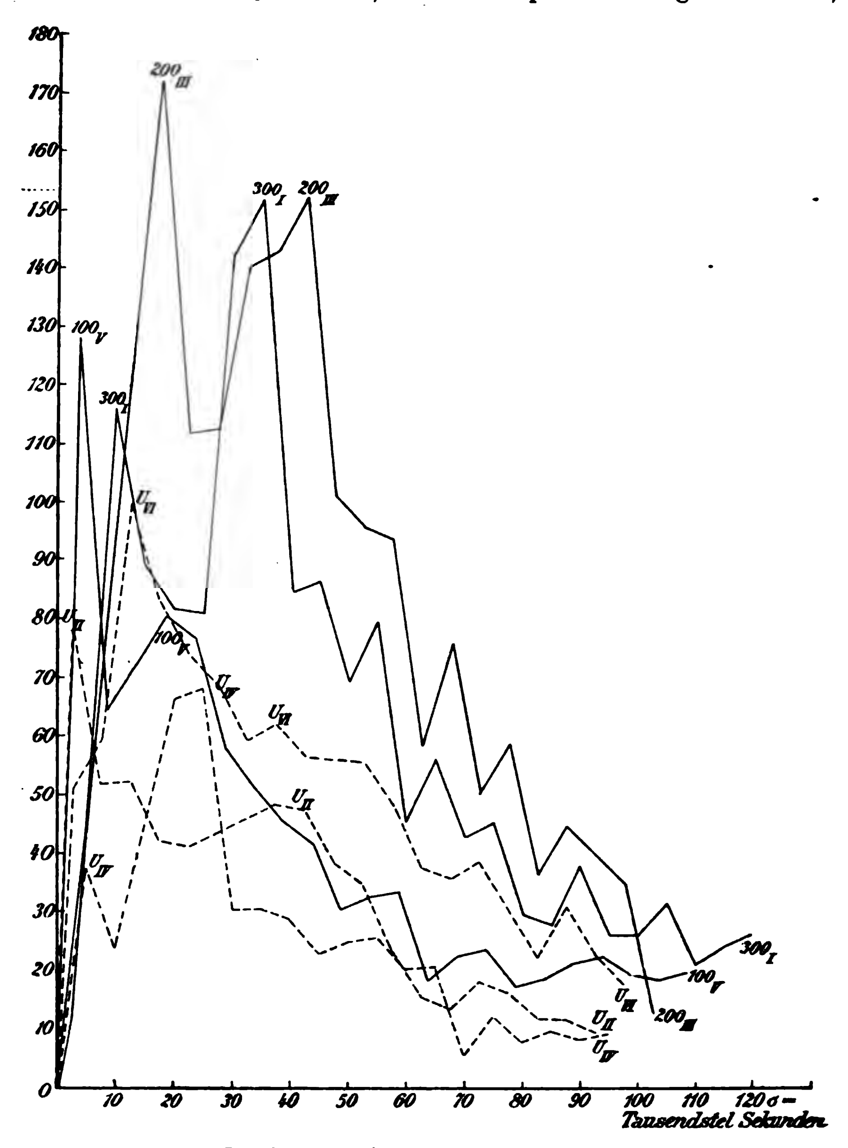


Fig. 6. Versuch C. (Berechnete Curven.)

eine secundäre Kuppe im abfallenden Curventheile (hump oder after-

1) The electrical response to stimulation of muscle, and its relation to the mechanical response. Part I. Journ. of physiol. vol. 18 p. 117, speciell p. 135. 1895.

effect) beschrieben: Boruttau[1]) vermuthet in dieser Complication allerdings eine schwache zweite Phase der eigentlich doppelsinnigen Schwankung, bedingt durch unreine Querschnittsanlegung. Auch wir haben am parallelfaserigen Sartorius relativ glatte Curven erhalten, hingegen am Semimembranosus und Gracilis major -- in Folge der sehnigen Inscriptionen — sehr complicirte Formen, von denen die vielgipfelige und doppelsinnige Schwankung in Fig. 12 auf Tafel VIII eine Vorstellung geben möge. — Eine solche Doppelgipfeligkeit, wie sie viele (nicht alle, wohl in Folge verschiedener Lage des Querschnittes) an den Adductoren gewonnene Curven aufweisen, erhielten wir auch bei alleiniger Verwendung des Adductor magnus oder nur des schwächeren medialen Bauches desselben (durchwegs bei indirecter Reizung). Zur Erklärung dieses Verhaltens sei darauf hingewiesen, dass die Adductoren vom Nerven aus gereizt wurden[2]) und die Nerven in den Adductor magnus hauptsächlich an zwei etwa 2—3 cm von einander entfernten Stellen eintreten. Nahe der unteren war der Querschnitt angelegt; ca. 1 cm oberhalb desselben lag das Band bezw. die Längsschnittelektrode. In Folge dessen trifft die Erregung bezw. die negative Schwankung innerhalb der einzelnen Muskelfasern nicht zu gleicher Zeit, sondern hauptsächlich in zwei ziemlich distincten Momenten (also die Elementarschwankungen in zwei Hauptgruppen) von den Nerveneintrittsstellen aus an der abgeleiteten Oberflächenregion ein. Wir möchten wesentlich auf den letzteren Umstand speciell das häufige Ansteigen der Elektrometercurve in zwei Absätzen beziehen (was bei der Berechnung zwei relativ steile Gipfel ergibt — in etwa 15—25 Tausendstelsecunden Abstand der beiden Maximalwerthe unter den berechneten —; diese als die wirklichen Gipfelpunkte vorausgesetzt, ergäbe sich bei einer Wegdifferenz von 1—2 cm für die beiden Gruppen von Elementarschwankungen allerdings nur eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit von

1) Centralbl. f. Phys. Bd. 9 S. 66. Vergl. auch L. Hermann, Pflüger's Arch. Bd. 63 S. 451—454. 1896.

2) Dass wir in den meisten Versuchen indirecte Reizung verwendeten und damit die oben geschilderte Complication in Kauf nehmen mussten, hat seinen Grund darin, dass sich bei directer Reizung häufig der erregende Inductionsschlag am Capillarelektrometer merklich machte und den so wichtigen Anfangstheil der Schwankungscurve deformirte. Mitunter blieb allerdings eine solche Störung aus. Durch Anwendung eines geeigneten Abblenders, wie ihn S. Garten angegeben hat (Beschreibung des Contactapparates l. c. S. 15 [343]), werden sich durchwegs ungestörte Curven auch bei directer Reizung gewinnen lassen.

50—100 cm in der Secunde). — Für die mangelnde Stetigkeit besonders im abfallenden Theile kommen natürlich auch die bei der Berechnung sehr verstärkt erscheinenden Ungenauigkeiten der Messung in Betracht, zumal da in diesen älteren Versuchen noch kein Coordinatennetz mitregistrirt worden war. Immerhin vermögen unseres Erachtens die angedeuteten Complicationen die Zulässigkeit der oben gezogenen Schlussfolgerungen nicht in Frage zu stellen.

IV. Discussion der Ergebnisse.

Fassen wir das Ergebniss für Isotonie und partielle Isometrie und die für den Zustand localer Belastung erhaltenen Resultate zusammen, so können wir folgende weitere Schlüsse ziehen.

Die locale (wie die allgemeine) Dauerbelastung oder Dauerspannung versetzt den Muskel in einen Zustand, in welchem er bis zu einer gewissen Grenze auf einen maximalen Reiz hin mit einer an Gipfelhöhe wie Flächeninhalt grösseren negativen Schwankung und mit erhöhter Zuckungsarbeit reagirt, und zwar wächst mit dem Grade der Dauerbelastung die Arbeit verhältnissmässig rascher, ereicht aber erst später ihr Maximum. Die verstärkte mechanische Leistung selbst, wie sie bei isometrischem Verhalten als vermehrte Spannung, bei isotonischer Belastungszuckung als (vermehrte) mechanische Arbeit auftritt, ist mit einer Abnahme und wohl auch Verkürzung der negativen Schwankung verknüpft. Da die negative Schwankung (speciell die Elementarschwankung) jedoch vor Beginn der Contraction bezw. mechanischen Leistung anhebt und (wenigstens zumeist) ihren Gipfel erreicht, kann sich jener depressive Effect nur am absteigenden Theile der Einzelschwankung äussern, gleichgültig, ob der Muskel dem (partiell) isometrischen Verfahren unterworfen ist, oder ob er im Belastungszustande eine isotonische Zuckung ausführt. Der abfallende Theil der Einzelschwankung im Belastungszustande steht demnach zugleich unter dem verstärkenden und wohl auch verlängernden Einfluss der Dauerbelastung und unter dem schwächenden und wohl auch verkürzenden Einfluss der verstärkten mechanischen Leistung bezw. Arbeit. Als Subtractionseffect kann je nach den Umständen eine restirende Ueberwerthigkeit oder Indifferenz oder selbst Unterwerthigkeit des

Schwankungsabfalles resultiren. Die tetanische Gesammtschwankung mit Superposition der einzelnen Schwankungen im abfallenden Theile wird demnach gleichfalls ein sehr verschiedenes Ergebniss haben.

Die elektromotorischen Erscheinungen, speciell die negative Schwankung, dürfen wir als elektrische Componenten gewisser Stoffwechsel-Processe im Muskel auffassen. Wir schliessen daher auf einen gegensätzlichen Einfluss der Dauerspannung und der verstärkten mechanischen Leistung auf den Stoff- bezw. Energieumsatz im Muskel. Dieser Antagonismus oder Compensationseffect kann entweder zu Stande kommen durch Auslösung von irgend welchen zwei Stoffwechsel-Aenderungen mit einander entgegen oder subtractiv wirkenden elektrischen Componenten oder durch eine gegensätzliche Beeinflussung eines und desselben Processes. Unter der erstgenannten Voraussetzung kann man speciell an gegensinnige Aenderung in derselben Stoffwechsel-Linie, an eine bestimmte Form von Assimilation und entsprechender Dissimilation denken. Ebenso kann man nach dem Vorgange von Bernstein die einfachere Formel von Abspaltung und Neubindung eines und desselben Stoffes, des Sauerstoffes, wählen. Nach dieser Vorstellung ist der aufsteigende Theil der negativen Schwankung der Ausdruck der Abspaltung oder Activirung des assimilirten Sauerstoffs, welche der Form- bezw. Spannungsänderung vorausgeht. Für die Deutung des absteigenden Theiles bestehen nach Bernstein zwei Möglichkeiten. Der einen zu Folge wäre er der Ausdruck einer erneuten Assimilation von Sauerstoff, während die mechanische Leistung (Spannung, Arbeit) überhaupt ohne Einfluss auf den elektrischen Vorgang bliebe. — Dem eben geführten Nachweis einer thatsächlichen Beziehung zwischen mechanischer Leistung und abfallendem Theile der negativen Schwankung würde die zweite Auffassung entsprechen: der absteigende Theil der Schwankung wäre der Ausdruck des Verbrauches des activirten Sauerstoffs während des Contractionsprocesses, eventuell zugleich ein Ausdruck der Reassimilirung des unverbraucht restirenden Sauerstoffquantums. Die negative Schwankung wäre dieser Deutung zu Folge überhaupt ein Indicator für die jeweils zu Oxydationsprocessen disponible Sauerstoffmenge. — Im Belastungszustande würde auf den Zuckungsreiz hin eine verstärkte Abspaltung erfolgen; die verstärkte mechanische Leistung bei Belastung, ebenso bei isometrischem Verhalten wäre hingegen mit einer erhöhten Sauerstoffconsumption verknüpft. Die dabei sich

weiter ergebenden Möglichkeiten hat Bernstein an einem anderen Orte[1]) eingehend discutirt.

Einer genaueren Analyse sei endlich noch die Erscheinung unterworfen, dass die höchste der berechneten Ordinaten bezw. die Gipfelhöhe der Einzelschwankung bei zunehmender Belastung langsamer wächst als die mechanische Arbeit, und dass die erstere früher ihr Maximum erreicht als die letztere. Die Analogie zu den von Heidenhain[2]), und A. Fick[3]) für die Wärmeproduction erhobenen Befunden wurde schon früher angedeutet, genauer sei dies durch die nachstehende graphische Darstellung je eines Versuches von Heidenhain, von A. Fick und eines der unsrigen illustrirt. Wir sehen in den ersteren Versuchen den Muskel bei Zuckung im Zustande der Dauerbelastung auf einen maximalen Reiz hin [ebenso auf einen untermaximalen Reiz hin, Danilewsky[4])] mehr Wärme produciren als im unbelasteten Zustande, ebenso mehr Wärme liefern mit zunehmender Belastung. Wir sehen zudem die mechanische Arbeit mit dem Grade der Dauerbelastung verhältnissmässig rascher wachsen, aber erst später ihr Maximum erreichen als die gelieferte Wärme, — eine weitgehende Analogie zu dem Verhalten der negativen Schwankung nach unseren Beobachtungen.

Bei isometrischem Verhalten fand Heidenhain (l. c. § 23 S. 90, § 32 S. 135) entsprechend der verstärkten mechanischen Leistung (Spannung) bezw. dem erhöhten Energie-Umsatz (S. 137) die Wärmebildung vermehrt. Auf denselben Factor, die verstärkte mechanische Leistung, haben wir die Minderung des abfallenden Theiles der elektrischen Schwankungscurve bezogen.

Schon aus den Ergebnissen Heidenhain's war der später von A. Fick genauer begründete und formulirte Schluss zu ziehen, dass, soweit mechanische Arbeit und Wärmeproduction betrachtet werden, der Energie-Umsatz im Muskel bei Zuckungsreaction bis zu einer gewissen Grenze um so grösser ist, aber auch mit um so höherem Nutzfactor geschieht, je mehr Widerstand sich der Arbeitsleistung

1) Pflüger's Archiv Bd. 67 S. 349 ff.

2) Mechanische Leistung, Wärme-Entwicklung und Stoffumsatz bei der Muskelthätigkeit § 22 S. 84 ff. Leipzig 1864.

3) Ueber die Wärme-Entwicklung bei der Muskelzuckung. Pflüger's Archiv Bd. 16 S. 58. 1878. Abgedr. in: Myotherm. Untersuchungen Nr. VII S. 102, speciell S. 120—121. Wiesbaden 1889.

4) Myothermische Untersuchungen S. 187. 1889.

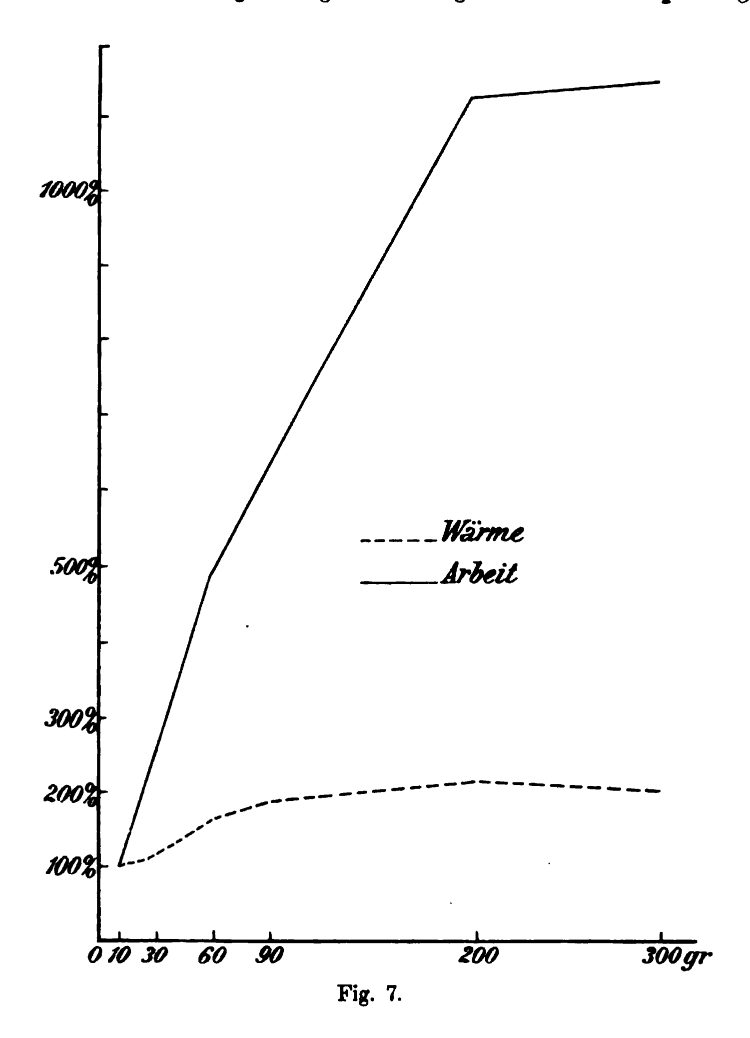


Fig. 7.

Procentzahlen für Wärmebildung und für mechanische Arbeit auf verschiedenen Belastungsstufen nach Heidenhain.

(Berechnet nach Versuch IX, erste Hälfte, S. 85.)

Belastung	10 g	30 g	60 g	90 g	200 g	300 g
Wärme . . .	100 %	116,7 %	162,4 %	187,4 %	212,4 %	200 %
Arbeit . . .	100 %	253,2 %	491,7 %	632,9 %	1123,7 %	1144,9 %.

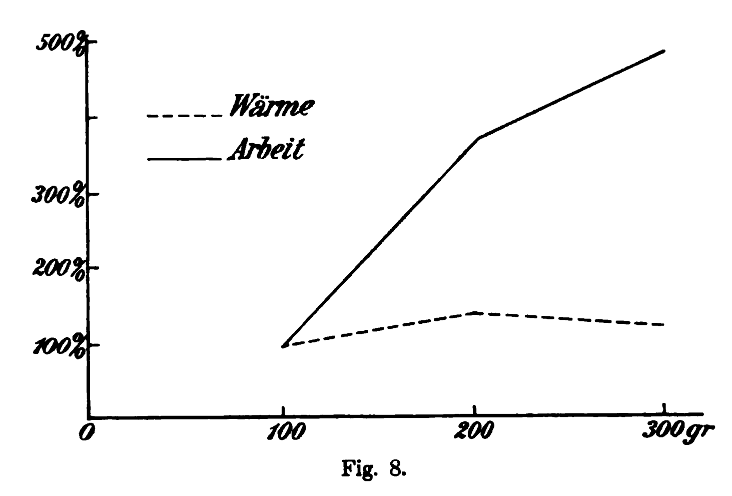


Fig. 8.

Procentzahlen für Wärmebildung und für mechanische Arbeit auf verschiedenen Belastungsstufen nach A. Fick.

(Berechnet nach Versuch vom 6. Oct. 1877. Myotherm. Untersuchungen S. 120.)

Belastung	100 g	200 g	300 g
Wärme. . . .	100 %	144,7 %	131 %
Arbeit	100 %	378,9 %	498,1 %

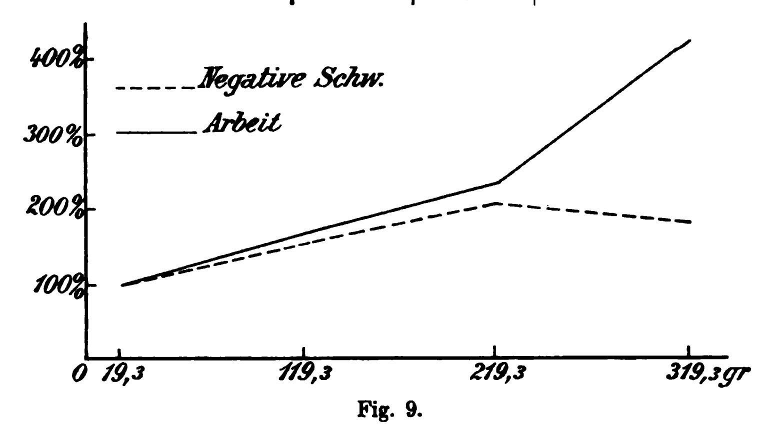


Fig. 9.

Procentzahlen für negative Schwankung und für mechanische Arbeit auf verschiedenen Belastungsstufen (vgl. oben Versuch C).

Belastung	19,3 g	119,3 g	219,3 g	319,3 g
Negat. Schwankung (Gipfelhöhe)	100 %	154,7 %	210,2 %	185,1 %
Arbeit.	100 %	170,5 %	235,1 %	427,8 %

entgegenstellt. Im Belastungszustande verwendet der Muskel einen mit dem Spannungsgrade wachsenden Bruchtheil der erhöhten chemischen Arbeit auf die mechanische Wirkung, gleichwie er im ermüdeten Zustande [A. Fick[1])] und auf schwächere Reize hin [Navalichin, Danilewsky[2])] „sparsamer" arbeitet. A. Fick berechnete bekanntlich ein Ansteigen des Nutzfactors bei zunehmender Belastung von $^1/_{20}$ bis nahezu $^1/_8$ (S. 126—127); Danilewsky betrachtet fast $^1/_2$ als obere Grenze (S. 188). Mit dem Heidenhain-Fick'schen Satze von der anpassungsweisen Aenderung von Umsatzgrösse und Nutzfactor erscheint unser Nachweis eines mehrfach analogen Verhaltens des elektrischen und thermischen Processes sehr wohl vereinbar. — So interessant uns übrigens die Analogien zwischen dem thermischen und dem elektrischen Verhalten des Muskels erscheinen, so soll damit natürlich nicht eine einfache Parallelisirung der beiden Erscheinungsgebiete vertreten werden.

Wir glauben somit eine Beziehung zwischen Belastungsgrad und Grösse des elektrischen Processes, sowie zwischen mechanischer Leistung und abfallendem Theile der negativen Schwankung festgestellt zu haben. Daraus ergibt sich unseres Erachtens der Schluss, dass der der negativen Schwankung zu Grunde liegende chemische Process einen Theil desjenigen Stoffwechselvorganges darstellt, welcher anpassungsweise mit der Belastung wächst, und welcher in toto in der gemessenen Wärme zum Ausdruck kommt.

Unsere Beobachtungen sprechen demnach für die von Bernstein[3]) vertretene Anschauung, dass die negative Schwankung des Muskelstromes in einer bestimmten Beziehung steht zu dem im thätigen Muskel stattfindenden Energie-Umsatz, und zwar nur zu einem oder mehreren bestimmten Theilprocessen, sowie in Beziehung steht zur Arbeitsleistung; hingegen hat Schenck[4]) die negative Schwankung als „wesentlich von der Erregungsleitung,

---

1) Ueber die Wärme-Entwicklung bei der Muskelzuckung. 1878. Abgedr. 1889, speciell S. 127.

2) l. c. S. 186.

3) Pflüger's Archiv Bd. 67 S. 349.

4) Pflüger's Archiv Bd. 63 S. 317, speciell 321, und Bd. 70 S. 121.

weniger — und erst im letzten Theile — vom eigentlichen Contractionsprocesse herrührend" bezeichnet.

Tafelerklärung.

Die Curve der negativen Schwankung ist durchwegs nach oben gerichtet. Darunter befindet sich die Schattenlinie des Hebels des Dickenmyographions und die Zeitschreibung (eine ganze Schwingung entspricht $\frac{1}{100}''$, nur in den Figuren 10 und 11 $\frac{1}{10}''$).

Fig. 1. Versuch B., Nr. 1. Negative Schwankung bei Isotonie und localer Hebelbelastung.

Fig. 2. Versuch B., Nr. 2. Negative Schwankung bei localer Isometrie.

Fig. 3. Versuch C., Nr. 1. Negative Schwankung bei localer Belastung von 300 g.

Fig. 4. Versuch C., Nr. 2. Negative Schwankung bei localer Hebelbelastung.

Fig. 5. Versuch C., Nr. 3. Negative Schwankung bei localer Belastung von 200 g.

Fig. 6. Versuch C., Nr. 4. Negative Schwankung bei localer Hebelbelastung.

Fig. 7. Versuch C., Nr. 5. Negative Schwankung bei localer Belastung von 100 g.

Fig. 8. Versuch C., Nr. 6. Negative Schwankung bei localer Hebelbelastung.

Fig. 9. Aichungscurve der Capillare für Versuch B und C.

Fig. 10. Versuch β., Nr. 2. Negative Schwankung bei local isometrischem Tetanus.

Fig. 11. Versuch β., Nr. 3. Negative Schwankung bei isotonischem Tetanus unter localer Hebelbelastung.

Fig. 12. Versuch VIII., Nr. 14 am Semimembranosus. Negative Schwankung bei localer Hebelbelastung.

Anhang.

Allgemeine Vorbemerkungen.

Die Berechnung wurde auf Grund der bekannten Formeln (Burch und Einthoven) ausgeführt. Für die Constante[1]) aus der Aichungscurve jeder Capillare:

$$\frac{1}{c} = \frac{\log e \cdot t}{\log y'_{\text{Endhöhe}} - \log (y' - y)},$$

für die Ordinaten der berechneten Curve

$$y_b = y_m + \frac{1}{c}\,(\text{Mittel}) \cdot \frac{dy}{dt}.$$

Die Intervalle zwischen den einzelnen Ordinaten entsprechen im Allgemeinen $\frac{1}{200}''$; in den Ausnahmefällen ist das Intervall besonders angegeben, z. B. $[\frac{1}{400}]$ in einer besonderen Colonne bedeutet $\frac{1}{400}''$.

Die Reihen der in Millimetern gemessenen Ordinaten sind durch ein vorgesetztes *m*, jene der berechneten durch ein vorgesetztes *b* bezeichnet: um die übereinanderstehenden Werthe der berechneten Reihen direct vergleichen zu können, ist jeder *b*-Reihe mit abweichendem Anfangsintervall (z. B. $\frac{1}{400}$, $\frac{3}{800}''$) eine zweite *b*-Reihe mit den für durchweg gleiche Intervalle ($\frac{1}{200}''$) ermittelten Durchschnittswerthen angefügt.

I. Theil.

Protokolle der Versuche B, E, F, H (siehe die Fahnentabelle 1) L, M, N, O (S. 322—323) über die negative Einzelschwankung bei isotonischem und partiell-isometrischem Verhalten der indirect gereizten M. adductor magnus et longus.

II. Theil.

Protokolle der Versuche B, C (Fahnentabelle 2), E, F (Fahnentabelle 3), G (Fahnentabelle 4), H (Fahnentabelle 5), L, M, N, O (S. 324—331) über die negative Einzelschwankung bei isotonischer Zuckung der indirect gereizten M. adductor magnus et longus im unbelasteten und im belasteten Zustande.

---

1) Der erste oder erste und zweite Werth aus der Ordinatenreihe der Aichungscurve kann — in erster Linie wegen ungenauer Zeitmessung (Bruchtheilschätzung) — von discrepanter Grössenordnung sein, z. B. in Versuch B und C, und ist dann bei Bestimmung des Mittels für $\frac{1}{c}$ weggelassen: für die späteren Werthe ist eine eventuelle Ungenauigkeit der zeitlichen Bestimmung des Anfangspunktes von viel geringerem Einflusse.

Versuch					Ad Theil I. (Versuche B, E, F, H auf Fahnentabelle 1.)						
L.	1.	Isot.	*m*	0	—	3,25	[1/400]	3,8	[1/400]	3,75	3,35
			b	0	—	**7,303**	[1/400]	5,172	[1/400]	3,625	2,851
	2.	Isom.	*m*	0	—	3,05	[1/400]	3,925	[1/400]	3,775	3,075
			b	0	—	**6,858**	[1/100]	6,111	[1/400]	3,401	2.202
	3.	Isot.	*m*	0	—	4,15	—	—	—	5,0	4,9
			b	0	—	**9,825**	—	—	—	6,06	4,775
M.	1.	Isot.	*m*	0	—	3,4	[1/400]	4,8	[1/400]	4,55	4,2
			b	0	—	6,73	[1/400]	**7,589**	[1/400]	4,06	3,857
	2.	Isom.	*m*	0	—	3,6	[1/100]	4,25	[1/400]	4,075	3,7
			b	0	—	**7,126**	[1/400]	5.533	[1/400]	3,732	3,333
	3.	Isot.	*m*	0	—	3,05	[8/800]	4,5	[1/800]	4,4	3,95
			b	0	—	6,086	[3/800]	**6,89**	[1/800]	4,008	3,509
N.	1.	Isot.	*m*	0	[8/800]	1,75	[3/800]	3,4	[1/800]	3,25	2,775
			b	9	[3/800]	3,695	[8/800]	**5,234**	[1/800]	2,75	2,379
			b	0	—	4,208	—	—	—	2,663	2,369
	2.	Isom.	*m*	0	—	2,7	[1/400]	3,45	[1/400]	3,05	2,75
			b	0	—	**4,951**	[1/400]	4,701	[1/400]	2,383	2,5
	3.	Isot.	*m*	0	[3/800]	2,025	[1/400]	3,1	[1/400]	3,0	2,6
			b	0	[3/800]	4,276	[1/400]	**4,892**	[1/400]	2,833	2,267
			b	0	—	4,584	—	—	—	2,692	1,887
O.	1.	Isot.	*m*	0	[1/800]	0,15	—	—	—	4,6	5,35
			b	0	[1/800]	0,848	—	—	—	**9,777**	6,222
	2.	Isom.	*m*	0	[1/800]	0,275	—	—	—	3,95	5,475
			b	0	[1/800]	1,555	—	—	—	**8,225**	7,249
	3.	Isot.	*m*	0	[1/800]	0,275	[1/400]	4,475	[1/400]	5,025	4,875
			b	0	[1/800]	1,555	[1/400]	**9,861**	[1/400]	6,305	4,526

1) Gerechnet vom Beginne der negativen Schwankung bis zum Zuckungsanfang.

Intervalle 1/100″. Aichungscurven mitgetheilt bei den Versuchen im II. Theile.							Wirkliche Zuckungs- bezw. Verdickungshöhe mm	Mech. Arbeit gmm	Mech. Latenz [1])
3,0	2,5	2,025	1,95	1,5	1,2	—	1,3	25,87	0,01″
2,564	1,877	1,426	1,857	0,939	0,826	—	—	—	—
2,675	2,025	1,775	1,075	0,975	0,875	—	—	—	—
2,101	1,212	1,463	0,202	0,85	0,75	—	—	—	—
4 2	3,85	3,05	2,8	2,1	1,9	1,65	0,905	18,02	0,0125″
3,327	3,414	2,053	2,488	1,228	1,651	1,338	—	—	—
3,35	2,85	2,35	1,85	1,5	1,375	—	1,45	28,74	0,01″
2,517	2,36	1,86	1,36	1,157	1,253	—	—	—	—
3,025	2,75	2,05	1,95	1,5	1,35	—	—	—	—
2,364	2,481	1,364	1,852	1,059	1,203	—	—	—	—
3,15	2,9	2,1	2,0	1,75	1,45	—	1,37	27,19	0,0125″
2,366	2,655	1,316	1,902	1,505	1,156	—	—	—	—
2,35	1,775	1,5	0,85	—	—	—	0,66	13,05	0,01125″
1.996	1,296	1,271	0,308	—	—	—	—	—	—
1.821	1,291	1,043	—	—	—	—	—	—	—
2,0	1,3	1,15	0,95	—	—	—	—	—	—
1,375	0,716	1,025	0,783	—	—	—	—	—	—
2,0	1,5	1,05	0,95	—	—	—	0,66	13,05	0,01125″
0,749	1,083	0,675	0,867	—	—	—	—	—	—
0,833	0,981	0,723	—	—	—	—	—	—	—
4,95	4,85	4,1	3,85	3,1	2,875	—	0,72	14,37	0,01125″
4,485	4,834	3,228	3,559	2,228	2,613	—	—	—	—
5,025	4,525	3,975	3,475	3,025	2,925	—	—	—	—
4,502	3,943	3,335	2,893	2,502	2,809	—	—	—	—
4,125	4,025	3,575	3,125	3,025	—	—	0,7	13,93	0,01125″
3,253	3,909	3,052	2,602	2,909	—	—	—	—	—

Versuch L.

Nr.				Ad Theil II. (Versuche B, C; E, F; G; H auf Fahnentabelle 2, 3, 4, 5,								
1 (3)	Isot.	*m*	0	—	4,15	—	5,0	—	4,9	—	4,2	3,85
	Unb.	*b*	0	—	**9,325**	—	6,060	—	4,775	—	3,327	3,414
2 (4)	Isot.	*m*	0	—	3,9	—	4,875	—	4,55	—	3,95	3,6
	50 g	*b*	0	—	**8,763**	—	6,091	—	4,148	—	3,202	3,164
3 (5)	Isot.	*m*	0	—	4,075	[$\frac{1}{400}$]	4,15	[$\frac{1}{400}$]	4,15	—	4,05	3,45
	Unb.	*b*	0	—	**9,156**	[$\frac{1}{400}$]	4,337	[$\frac{1}{400}$]	4,15	—	3,925	2,702
4 (6)	Isot.	*m*	0	[$\frac{1}{400}$]	0,95	—	4,5	[$\frac{1}{400}$]	4,65	[$\frac{2}{400}$]	4,45	3,95
	100 g	*b*	0	[$\frac{1}{400}$]	3,319	—	**8,927**	[$\frac{1}{400}$]	5,024	[$\frac{1}{400}$]	4,001	3,327
		b	0		6,123	—	5,024	—	3,664		3,246	2,708
5 (7)	Isot.	*m*	0	[$\frac{1}{400}$]	0,2	—	3,7	[$\frac{1}{400}$]	3,95	[$\frac{1}{400}$]	3,9	3,45
	Unb.	*b*	0	[$\frac{1}{400}$]	0,699	—	**8,064**	[$\frac{1}{400}$]	4,573	[$\frac{1}{400}$]	3,775	2,889
		b	0	—	4,382	—	4,573	—	3,332	—	2.72	2.183
6 (8)	Isot.	*m*	0	[$\frac{1}{400}$]	0,1	—	3,9	[$\frac{1}{400}$]	4,1	[$\frac{1}{400}$]	4,025	3,8
	150 g	*b*	0	[$\frac{1}{400}$]	0,349	—	**8,389**	[$\frac{1}{400}$]	4,599	[$\frac{1}{400}$]	3,838	3,52
		b	0	—	4,869	—	4,599	—	3,679	—	2,93	2,352
7 (9)	Isot.	*m*	0	—	3,0	—	4.125	—	3,975	—	3,575	3,025
	Unb.	*b*	0	—	**6,741**	—	5,528	—	3.788	—	3,076	2,34
8 (10)	Isot.	*m*	0	—	2,95	—	4,0	—	3,85	—	3,15	2,875
	200 g	*b*	0	—	**6,629**	—	5,87	—	3,663	—	2,278	2,657
Pause												
9 (11)	Isot.	*m*	0	—	1,25	[$\frac{1}{400}$]	1,55	[$\frac{1}{400}$]	1,50	—	1,45	1,25
	Unb.	*b*	0	—	**2,809**	[$\frac{1}{400}$]	2,298	[$\frac{1}{400}$]	1,375	—	1,388	1,001
10 (12)	Isot.	*m*	0	[$\frac{1}{400}$]	0.45	—	0,95	—	0.9	—	0,75	0,6
	50 g	*b*	0	[$\frac{1}{400}$]	1,572	—	**1.573**	—	0.838	—	0,563	0,413
		b	0		1,572	—	1,206	—	0.701	—	0.488	0,423
11 (13)	Isot.	*m*	0	[$\frac{1}{400}$]	0,3	—	0,65	[$\frac{1}{400}$]	0,75	[$\frac{1}{400}$]	0,65	0,6
	Unb.	*b*	0	[$\frac{1}{400}$]	1.048	—	**1,086**	[$\frac{1}{400}$]	0,999	[$\frac{1}{400}$]	0.401	0,538
		b	0	—	1.067	—	0,999	—	0,47	—	0,541	0,532
	Rh.-Str.	*m*	0	[$\frac{3}{500}$]	8.7	—	15,7	—	17,15	—	17,75	18,1
		b	0									

$\frac{1}{c} =$

Hebel + Waagschale = 19,9 g:

Intervalle $\frac{1}{100}$″.

						Berechnetes Schwankungs-Maximum	Wirkliche Zuckungs-höhe mm	Mechanische Arbeit gmm	Mechan. Latenz
3,05	2,8	2,1	1,9	1,65	—	aus 1, 3 9,24	0,906	18,02	0,0125″
2,053	2,488	1,228	1,651	1,338	—	als 100 %	—	aus 1, 3 17,97 als 100 %	—
2,95	2,7	2,1	1,9	1,6	—	—	0,583	40,08	0,01″
2,139	2,388	1,352	1,651	1,226	—	93,8 %	—	227 %	—
3,05	2,45	2,025	1,85	1,25	—	aus 3, 5 8,61	0,9	17,91	0,01″
2,551	1,702	1,495	1,632	0,502	—	als 100 %	—	aus 3, 5 18,24 als 100 %	—
3,6	3,0	2,7	2,0	1,85	1,45	—	0,411	49,29	0,0125″
3,164	2,252	2,326	1,128	1,663	0,951	103,7 %	—	270,1 %	—
2,289	1,727	1,396	1,307	—	—	—	—	—	—
3,05	2,5	2,05	1,6	1,125	1,0	aus 5, 7 7,402	0,938	18,57	0,0125″
2,551	1,815	1,489	1,039	0,533	0,844	als 100 %	—	aus 5, 7 18,13 als 100 %	—
1,652	1,264	0,786	0,689	—	—	—	—	—	—
3,15	2,8	2,25	2,0	1,45	—	—	0,439	74,57	0,0125″
2,34	2,364	1,565	1,688	0,765	—	113 %	—	411,2 %	—
1,965	1,627	1,227	—	—	—	—	—	—	—
2,525	2,025	1,725	1,325	1,025	—	aus 7 6,741	0,889	17,69	0,0125″
1,902	1,402	1,351	0,826	0,652	—	als 100 %	—	aus 7 17,69 als 100 %	—
2,25	1,95	1,65	1,35	1,1	—	—	0,306	67,19	0,0125″
1,471	1,576	7,276	0,976	0,788	—	98,3 %	—	379,8 %	—
1,025	0,975	0,9	—	—	—	aus 9, 11 1,947	0,678	13,49	0,01″
0,745	0,913	0,807	—	—	—	als 100 %	—	aus 9, 11 11,39 als 100 %	—
0,525	0,5	—	—	—	—	—	0,2	11,98	0,0125″
0,432	0,469	—	—	—	—	80,8 %	—	105,2 %	—
0,451	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,575	0,55	0,5	—	—	—	—	0,467	9,29	0,0125″
0,544	0,519	0,438	—	—	—	—	—	—	—
0,479	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18,4	18,85	18,85	—	—	—	—	—	—	—

0,0062349

Hebelvergrösserung 1 : 4,5.

Versuch M.

Nr.												
1 (3)	Isot.	*m*	0	—	3,05	[3/800]	4,5	[1/800]	4,4	—	3,95	3,15
	Unb.	*b*	0	—	6,086	[3/800]	6,89	[1/800]	4,008	—	3,509	2,366
2 (4)	Isot.	*m*	0	[1/400]	2,225	—	4,65	—	4,1	—	3,25	2,9
	50 g	*b*	0	[1/400]	6,584	—	7,025	—	3,561	—	2,317	2,557
		b	0	—	6,805	—	5,293	—	2,939	—	2,437	2,085
3 (5)	Isot.	*m*	0	[1/400]	1,975	—	4,225	—	3,875	—	2,975	2,575
	Unb.	*b*	0	[1/400]	5,844	—	6,429	—	3,532	—	2,094	2,183
		b	0	—	6,137	—	4,981	—	2,813	—	2,139	1,884
4 (6)	Isot.	*m*	0	[1/400]	0,925	—	3,975	[1/400]	4,475	[1/400]	4,175	3,875
	100 g	*b*	0	[1/400]	2,762	—	6,962	[1/400]	5,944	[1/400]	3,587	3,581
		b	0	—	4,862	—	5,944	—	3,584	—	2,862	2,25
5 (7)	Isot.	*m*	0	[1/400]	0,85	—	4,15	—	3,55	—	3,0	2,45
	Unb.	*b*	0	[1/400]	1,683	—	7,882	—	2,962	—	2,461	1,911
		b	0	—	4,533	—	5,172	—	2,712	—	2,186	1,785
6 (8)	Isot.	*m*	0	—	3,6	[1/400]	4,25	[1/400]	4,15	—	3,45	2,75
	100 g	*b*	0	—	7,126	[1/400]	5,465	[1/400]	3,954	—	2,764	2,064
7 (9)	Isot.	*m*	0	—	3,65	[1/400]	3,75	[1/400]	3,675	—	2,75	2,65
	Unb.	*b*	0	—	7,225	[1/400]	3,946	[1/400]	3,528	—	1,844	2,552
8 (10)	Isot.	*m*	0	[1/400]	1,3	[1/400]	4,3	[1/400]	4,15	—	3,7	3,35
	50 g	*b*	0	[1/400]	3,847	[1/400]	10,177	[1/400]	3,856	—	3,259	3,007
		b	0	—	10,177	—	3,588	—	3,133	—	2,733	–
9 (11)	Isot.	*m*	0	[1/400]	1,55	—	3,7	—	3,5	—	3,45	–
	Unb.	*b*	0	[1/400]	4,586	—	5,806	—	3,304	—	3,401	–
		b	0	—	5,196	—	4,555	—	3,353	—	—	–
	Rh.-Str.	*m*	0	[1/400]	6,95	—	15,95	—	17,85	—	19,4	19,55
		b										$\frac{1}{c}$ =

Hebel + Waagschale = 19.9 g.

Versuch N.

Nr.												
1 (3)	Isot.	*m*	0	[3/800]	2,025	[1/400]	3,1	[1/400]	3,0	—	2,6	2,0
	Unb.	*b*	0	[3/800]	4,276	[1/400]	4,892	[1/400]	2,833	—	2,267	0,749
		b	0	—	4,584	—	2,692	—	1,887	—	0,833	0,981
2 (4)	Isot.	*m*	0	—	2,2	[1/400]	3,2	[1/400]	3,1	—	2,6	2,175
	50 g	*b*	0	—	4,134	[1/400]	4,867	[1/400]	2,933	—	2,183	1,821
		b	0	—	4,134	—	2,933	—	2,183	—	1,821	1,121
3 (5)	Isot.	*m*	0	[1/800]	0,075	—	2,1	[1/400]	2,65	[1/400]	2,35	2,05
	Unb.	*b*	0	[1/800]	0,325	—	8,788	[1/400]	3,567	[1/400]	1,851	1,80
		b	0	—	2,922	—	2,709	—	1,838	—	1,44	0,812
Pause												



(Fortsetzung des Versuches N.)

Nr.											
4 (6)	Isot.	*m*	0	—	1,55	$[\frac{1}{400}]$	2,05	$[\frac{1}{400}]$	1,9	—	1,6
	Unb.	*b*	0	—	2,842	$[\frac{1}{400}]$	2,884	$[\frac{1}{400}]$	1,65	—	1,35
		b	0	—	2,842	—	1,65	—	1,35	—	1,6
5 (7)	Isot.	*m*	0	$[\frac{3}{800}]$	1,2	$[\frac{8}{800}]$	2,3	$[\frac{1}{800}]$	2,225	—	2,15
	100 g	*b*	0	$[\frac{8}{800}]$	2,534	$[\frac{3}{800}]$	3,521	$[\frac{1}{800}]$	1,975	—	1,525
		b	0	—	2,863	—	1,862	—	1,475	—	1,189
6 (8)	Isot.	*m*	0	$[\frac{8}{800}]$	1,1	—	1,85	—	1,55	—	1,1
	Unb.	*b*	0	$[\frac{3}{800}]$	2,321	—	2,475	—	1,3	—	0,725
		b	0	—	2,36	—	2,181	—	1,156	—	0,704
7 (9)	Isot.	*m*	0	—	1,45	—	2,7	—	2,7	—	2,675
	150 g	*b*	0	—	2,659	—	3,742	—	2,7	—	2,654
8 (10)	Isot.	*m*	0	$[\frac{8}{800}]$	0,55	—	1,525	$[\frac{1}{400}]$	1,6	$[\frac{1}{400}]$	1,55
	Unb.	*b*	0	$[\frac{3}{800}]$	1,161	—	2,338	$[\frac{1}{400}]$	1,663	$[\frac{1}{400}]$	1,467
		b	0	—	1,455	—	2,001	—	1,437	—	1,208
9 (11)	Isot.	*m*	0	—	1,25	—	1,95	—	1,75	—	1,5
	200 g	*b*	0	—	2,292	—	2,584	—	1,583	—	1,292
10 (12)	Isot.	*m*	0	$[\frac{8}{800}]$	0,75	—	1,7	$[\frac{1}{400}]$	1,8	$[\frac{1}{400}]$	1,75
	Unb.	*b*	0	$[\frac{8}{800}]$	1,584	—	2,492	$[\frac{1}{400}]$	1,967	$[\frac{1}{400}]$	1,667
		b	0	—	1,811	—	2,23	—	1,634	—	1,267
Pause											
11 (13)	Isot.	*m*	0	—	0,2	—	0,425	—	0,9	—	0,875
	Unb.	*b*	0	—	0,367	—	0,613	—	1,296	—	0,854
12 (14)	Isot.	*m*	0	$[\frac{1}{400}]$	0,375	—	0,835	$[\frac{1}{400}]$	0,975	$[\frac{1}{400}]$	0,95
	150 g	*b*	0	$[\frac{1}{400}]$	1,0	—	1,485	$[\frac{1}{400}]$	1,225	$[\frac{1}{400}]$	0,929
		b	0	—	1,218	—	1,225	—	0,94	—	0,941
	Rh.-Str.	*m*	0	—	10,975	—	15,0	—	16,825	—	17,075
		b									$\frac{1}{c}=$

Hebel + Waagschale 19,9 g.

Versuch O.

1 (3)	Isot.	*m*	0	$[\frac{1}{800}]$	0,275	4,475	$[\frac{1}{400}]$	5,025	$[\frac{1}{400}]$	4,875	4,125
	Unb.	*b*	0	$[\frac{1}{800}]$	1,555	9,861	$[\frac{1}{400}]$	6.305	$[\frac{1}{400}]$	4,526	3,253
		b	0	—	7,41	5,413	—	3,571	—	3,745	3,256
2 (4)	Isot.	*m*	0	$[\frac{1}{400}]$	0,7	4,4	—	4.85	—	4,675	4,25
	50 g	*b*	0	$[\frac{1}{400}]$	2,329	8,704	—	5,373	—	4,471	3,756
		b	0	—	5,517	7,039	—	4.922	—	4,114	3,408
3 (5)	Isot.	*m*	0	$[\frac{3}{800}]$	2,3	4,15	—	4,125	—	4,0	3,3
	Unb.	*b*	0	$[\frac{3}{800}]$	5.865	6,302	—	4,096	—	3,855	2,486
		b	0	—	5,974	5.75	—	4.036	—	3,513	2 581

(Fortsetzung des Versuches N.)

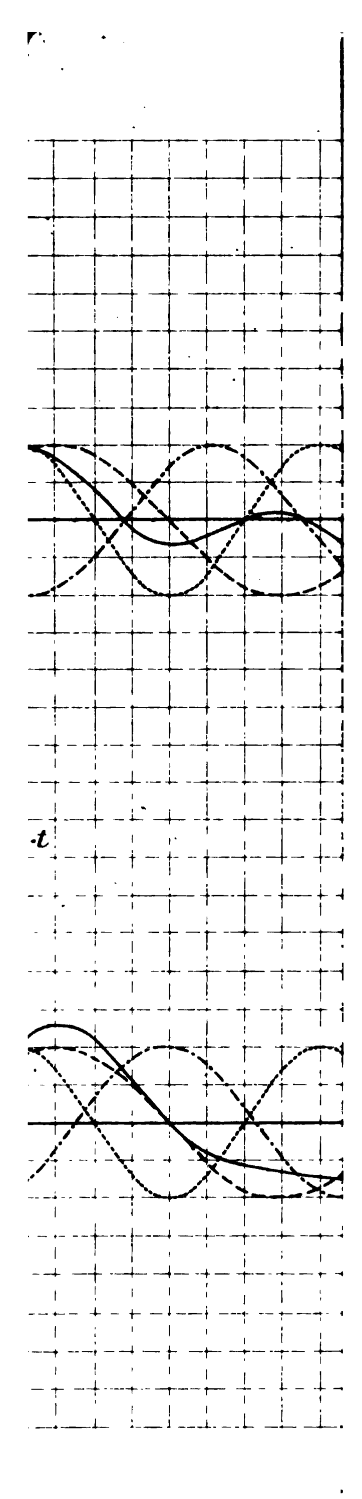
				Berechnetes Schwankungsmaximum	Wirkliche Zuckungshöhe mm	Mechanische Arbeit gmm	Mechan. Latenz
1,6	1,55	—	—	aus 4, 6 268	0,661	13,16	0,0125"
1,6	1,508	—	—	als 100 %	—	aus 4, 6 11,78 als 100 %	—
1,508	—	—	—	—	—	—	—
1,7	1,2	1,15	0,7	—	0,333	39,97	0,01875"
1,325	0,783	1,108	0,325	131,4 %	—	339,5 %	—
0,864	0,912	—	—	—	—	—	—
0,85	0,6	—	—	aus 6, 8 2,407	0,522	10,39	0,01"
0.642	0,392	—	—	als 100 %	—	aus 6, 8 11,46 als 100 %	—
0,579	—	—	—	—	—	—	—
2,625	2,625	2,55	2,5	—	0,156	26,24	0,02"
2,583	2,625	2,487	2,458	155,5 %	—	230,5 %	—
1,475	1,1	0,7	0,525	aus 8, 10 2,415	0,63	12,54	0,01"
1,348	0,787	0,367	0,379	—	—	aus 8, 10 12,02 als 100 %	—
0,682	0,37	—	—	—	—	—	—
1,0	0,925	0,85	—	—	0,217	47,64	0,015"
0,583	0,862	0,787	—	104,9 %	—	396,4 %	—
1,65	1,0	0,8	—	—	0,578	11,49	0,01125"
1,537	0,458	0,633	—	—	—	—	—
0,502	—	—	—	—	—	—	—
0,85	0,8	0,75	—	aus 11 1,296	0,433	8,62	0,0125"
0,829	0,758	0,708	—	als 100 %	—	aus 11 8,62 als 100 %	—
0,95	0,935	0,875	—	—	0,156	26,24	0,0175"
0,95	0,923	0,825	—	110,7 %	—	306,4 %	—
0,874	—	—	—	—	—	—	—
17,125	17,125	—	—	—	—	—	—
0,0041686				—	—	—	—

Hebelvergrösserung 1 : 4,5.

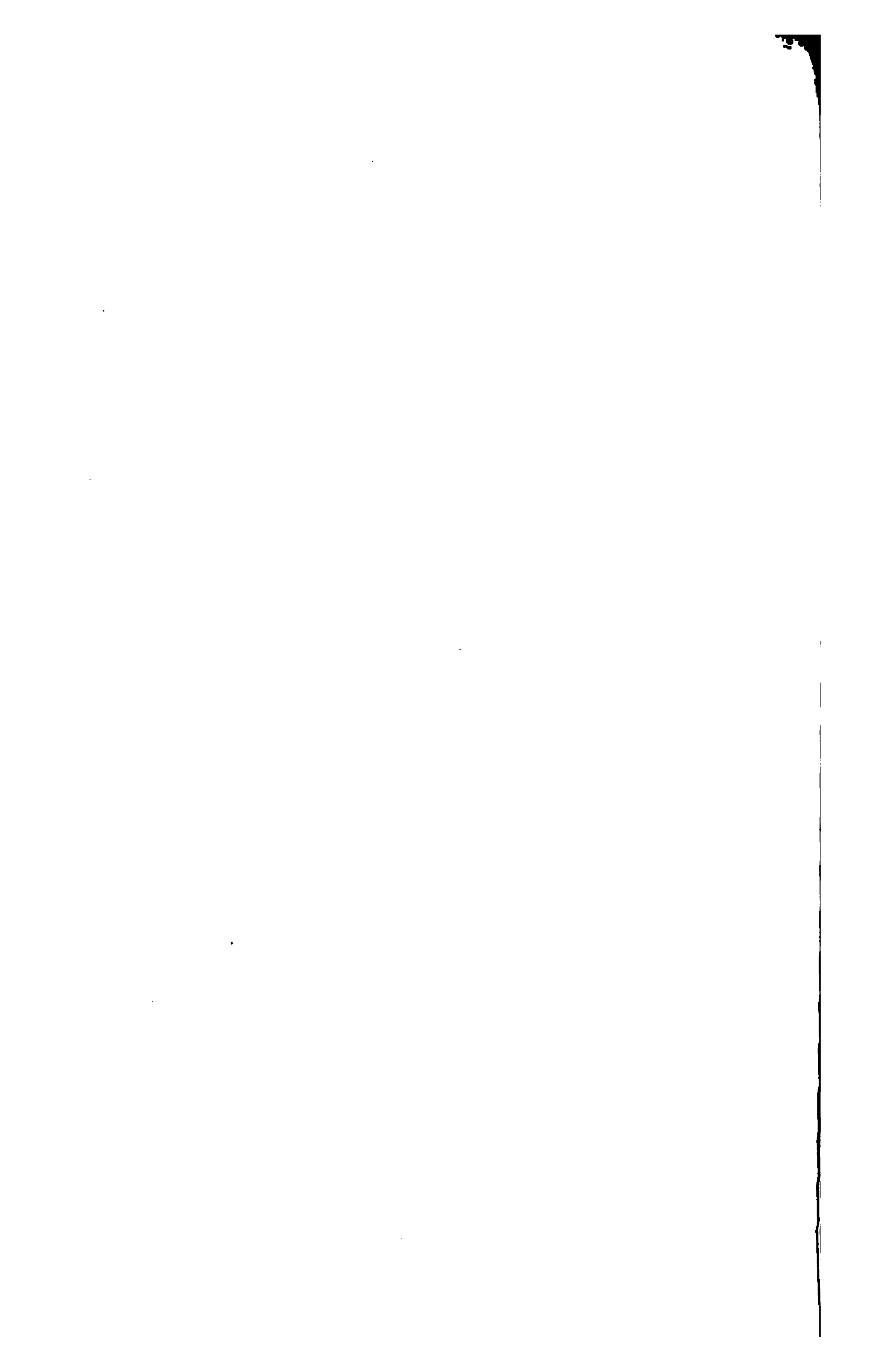
Intervalle $\frac{1}{200}$".

				Berechnetes Schwankungsmaximum	Wirkliche Zuckungshöhe mm	Mechanische Arbeit gmm	Mechan. Latenz
4,025	3,575	3,125	3,025	aus 1, 3 7,842	0,7	13,93	0,01125"
3,909	3,052	2,602	2,909	als 100 %	—	aus 1, 3 13,6 als 100 %	—
2,714	2,832	—	—	—	—	—	—
3,7	3,4	2,9	2,7	—	0,4	27,96	0,0125"
3,06	3,051	2,318	2,467	110,9 %	—	205,6 %	—
3,056	2,685	2,393	—	—	—	—	—
3,1	3,0	2,4	—	aus 3, 5 6,581	0,667	13,27	0,01"
2,867	2,884	1,702	—	als 100 %	—	aus 3, 5 13,21 als 100 %	—
2,871	2,588	—	—	—	—	—	—

Zu dem vorstehenden Aufsatze gehören die Fahnen-tabellen 1—5 am Schlusse dieses Heftes.



soiden
ionscurve } *Für Curven V bis VIII.*



Einfluss der Phasen auf die Klangfarbe.

Von

Em. ter Kuile,
Specialarzt aus Amsterdam.

(Mit 2 Textfiguren und Tafel IX, X u. XI.)

Erster Abschnitt.

I.

Vor Helmholtz wurde angenommen, dass das Ohr im Stande sei, die Form der Schwingungen zu unterscheiden, und durch diese eben die Klangfarbe bestimmt sei. Helmholtz hat sich die Frage gestellt: Verändert sich der Klang nach dem Phasenunterschiede der Obertöne? Um diese Frage zu beantworten, hat er seine bekannten Versuche mit den elektrischen Stimmgabeln gemacht, und aus diesen den Schluss gezogen, „dass die Unterschiede der musikalischen Klangfarbe nur abhängen von der Anwesenheit und Stärke der Partialtöne, nicht von ihren Phasenunterschieden".

Bei diesen Versuchen wurden jedes Mal zwei Klänge verglichen, die sich von einander nur darin unterschieden, dass in dem einen Klang ein oder mehrere Töne eine andere Phase hatten als in dem anderen Klang. Würde ein Unterschied merkbar gewesen sein, so müssten die Klänge schon deutlich verschieden sein, weil sie nicht unmittelbar nach einander angegeben werden konnten, sondern eine kleine Zeitperiode erforderlich war, um die Veränderung am Apparat zu bewerkstelligen. Helmholtz sagt dann auch bei der zweiten Versuchsreihe, wobei die Gabeln selbst verstimmt wurden: „es ist keine Veränderung der Klangfarbe wahrzunehmen, wenigstens keine solche, welche deutlich genug wäre, dass man sie nach der kleinen Zeit von einigen Secunden, die man zur Umänderung des Apparats gebraucht, noch erkennen könnte, jedenfalls also keine solche Veränderung der Klangfarbe, wodurch ein Vocal in einen anderen verwandelt würde". Dass dieses letzte der Fall ist, und dass der musikalische Theil der Klangfarbe bei verschiedenen Instrumenten

verschieden ist, eben durch die Anwesenheit und Stärke der Partialtöne, darauf kann aus diesen Versuchen, glaube ich, ruhig geschlossen werden.

II.

Stelle ich mir aber vor, dass an einer grossen dunklen Wand sich ein kleiner heller Punkt befindet, dann kann man die Stellung des Punktes sehr gut um ein sehr Geringes verändern, ohne dass ich beim erneuten Hinschauen erkennen kann, dass der Punkt sich jetzt an einem etwas vom ersten verschiedenen Orte befindet, wenn ich nur nicht den Vorgang der Verwandlung selbst mit angesehen habe. Lässt man aber den hellen Punkt sich in einem kleinen Kreis bewegen, so dass sein grösster Ortswechsel nicht grösser ist als zuvor, so werde ich leicht erkennen, dass der Punkt seinen Ort stetig wechselt und periodisch nach seiner ersten Stelle zurückkehrt. Im ersten Falle muss ich zwei Eindrücke, die in der Zeit nicht unmittelbar an einander grenzen, direct beurtheilen und mit einander vergleichen, ohne dass die grosse dunkle Wand mir zu einer solchen genauen Beurteilung genügende Anhaltspunkte bot. Im zweiten Fall bot mir immerfort eine vorhergehende Stellung des Punktes einen bequemen Anhaltspunkt zur Beurtheilung der nächsten Stellung. So könnte es nun auch sein, dass kleine Unterschiede der Farbe zweier Klänge, die mit einem kleinen Zwischenraum in der Zeit angegeben werden, für die Beurtheilung verloren gehen, während sie erkannt werden könnten, wenn der eine Klang allmählich (aber weder zu langsam noch zu schnell) in den anderen überginge und wieder zu sich selbst zurückkehrte. Dies letzte nun findet statt, wenn im Verlaufe jeder einzelnen Schwebungsperiode eines schwebenden Zusammenklanges die Klangfarbe desselben periodische Schwankungen erkennen lässt. Diese Schwankungen sind meistens von der Art, dass sie sicher beschwerlich erkannt wären, wenn man die Klänge aus den verschiedenen Theilen der Schwebungsperiode einzeln nach einander zu Gehör bekommen hätte. Es ist also die Methode der Schwebungen zur Vergleichung von Klängen, die nur durch die Phasen ihrer einzelnen Töne sich unterscheiden, eine sehr feine Methode. Worin besteht diese Methode eigentlich? Man will z. B. wissen, ob ein Klang seine Farbe wechselt, wenn einer der zusammenstellenden Töne jedes Mal eine andere Anfangsphase hat, während die Anfangsphasen der übrigen Töne jedes Mal dieselben sind. Hat der Ton, dessen Phase man verändern will, die Schwingungszahl n,

so nimmt man nicht genau diesen Ton zum Experiment, sondern einen solchen, dessen Schwingungszahl etwas von der richtigen abweicht, z. B. $n + \Delta$, und betrachtet diesen als einen Ton n, der beständig seine Phase wechselt. Statt der Schwingungsform $A \sin 2\pi (nt + p)$ hat man dann $A \sin 2\pi [(n + \Delta) t + p] = A \sin 2\pi (nt + p + \Delta t)$, die man betrachten kann als eine Form mit der Schwingungszahl n, deren Anfangsphase jedoch $p + \Delta t$, also eine Funktion von t, ist. Jedes Mal wenn Δt eine ganze Zahl ist, also wenn $t = \frac{1}{\Delta}, = \frac{2}{\Delta}$ u. s. w. hat der Ton wieder die gleiche Phasenbeziehung zu den übrigen Tönen des Klanges, wie wenn man nicht den Ton $n + \Delta$, sondern den unverstimmten Ton n genommen hätte. Bildet also dieser Ton n mit einer Reihe anderer Töne eine zusammengesetzte Bewegung, die durch eine Superpositionscurve vorgestellt werden kann, so besteht an den Stellen $\frac{1}{\Delta}, \frac{2}{\Delta}$ u. s. w. (wenn wir $n + \Delta$ statt n nehmen) wieder dieselbe Curve, wenn wir uns auch bei $t = \frac{1}{\Delta}$ u. s. w. nicht genau an derselben Stelle der Curve befinden mögen wie bei $t = 0$. (Vgl. Cap. XLII.)

III.

„Eine scheinbare Ausnahme von der Regel“ (n. l. der Einflusslosigkeit der Phasen) sagt Helmholtz weiter[1]), „muss hier erwähnt werden. Wenn man die Gabeln B und b nicht ganz rein stimmt, und durch Streichen oder Anschlagen in Schwingung bringt, so hört ein aufmerksames Ohr ganz schwache Schwebungen, die als kleine Veränderungen der Tonstärke und der Klangfarbe erscheinen. Diese Schwebungen hängen allerdings damit zusammen, dass die schwingenden Gabeln nach einander in verschiedene Phasenunterschiede gelangen. Ihre Erklärung wird bei den Combinationstönen gegeben werden, und es wird sich dort zeigen, dass auch diese kleinen Veränderungen der Klangfarbe auf Veränderungen der Tonstärke eines der Töne zurückgeführt werden können.“

Für die Erklärung der Schwebungen engerer Intervalle einfacher Töne schliesst Helmholtz[2]) sich der Ansicht Scheibler's an,

---

1) Tonempfindungen, 5. Aufl., S. 207.

2) Tonempfindungen S. 328.

dass dieselben beruhen auf den Combinationstönen höherer Ordnung. Bei der Octave genügt der erste Differenzton, bei der Quinte muss man Combinationstöne zweiter, bei der Quarte auch dritter Ordnung zu Hülfe nehmen.

Wir sehen also, dass nach Helmholtz verstimmte Intervalle von zusammengesetzten Tönen Schwebungen geben durch die Coincidenz von allerhand Obertönen, dass aber verstimmte Intervalle von einfachen Tönen (Tönen ohne Obertöne) Schwebungen geben können durch die Combinationstöne, welche mit den gegebenen Tönen oder mit einander coincidiren. Hieraus geht hervor, dass Helmholtz der Phasenveränderung einen Einfluss auf die Klangfarbe (siehe oben „Veränderungen der Tonstärke und der Klangfarbe") nicht abspricht, wenn unter Einfluss dieser Veränderung die Intensität einzelner Töne (Obertöne oder Primärtöne oder Combinationstöne), die im Labyrinth durch die Zerlegung geschieden vorhanden sind, eine wechselnde ist. Daraus ist dann weiter zu schliessen, dass der ursprüngliche Gedanke Helmholtz' nur dieser ist: Weil das Ohr den Klang in seine einzelnen Bestandtheile zerlegt, so dass jeder dieser Bestandtheile verschiedene Zellgruppen afficirt, kann der Klang keinen Einfluss erleiden von der Phasenbeziehung, sondern nur von der Stärke dieser einzelnen Bestandtheile. Weil die Bestandtheile geschieden sind, haben sie eben keine Phasenbeziehung mehr. — Dieser Gedanke ist auch unmöglich zu bestreiten, wenn man nicht annimmt, dass die Bestandtheile nach der Scheidung im Labyrinth noch ihre Periodik beibehalten und im Gehirn wieder sich supponiren, wie es in der Luft der Fall war. Kommen nun bei der Zerlegung zwei Bestandtheile so nah an einander, dass sie Zellgruppen, die in einander übergreifen, afficiren, dann kann man das zwar als Intensitätswechsel dieser zwei Bestandtheile und dadurch erzeugten Klangfarbenwechsel des ganzen Klanges betrachten; das kämpft jedoch nicht gegen den obigen Gedanken Helmholtz's an, weil eben die Bestandtheile jetzt nicht mehr absolut geschieden sind. Wir werden denn auch jenen Gedanken sicher nicht bestreiten.

IV.

Wir müssen nun ferner fragen: Wenn zwei verschiedene Instrumente einen Klang geben, kann dann das Ohr bei verschiedener Phasenbeziehung der zwei Klänge einen verschiedenen Eindruck empfangen? — In gewissen Fällen muss das nothwendig so sein.

Gibt z. B. das eine Instrument den Klang $m + l$, das andere $n + l$, so dass die zwei Klänge den Ton l gemein haben, so können die zwei Klänge das eine Mal eine derartige Phasenbeziehung haben, dass die zwei Töne l einen Phasenunterschied 0, das andere Mal, dass dieselben einen Phasenunterschied $\frac{1}{2}$ haben, wobei die Töne l einander vernichten. Das eine Mal bekommt das Ohr etwa den Eindruck $m + n + 2l$, das andere Mal den Eindruck $m + n$. Das eine Mal wird die Klangfarbe anders sein als das andere Mal. Dieses würde Helmholtz nicht bestreiten. Dieser Wechsel findet statt, wenn verstimmte Intervalle von obertonhaltigen Noten Schwebungen bilden. Kann man das auch sagen bei verstimmten Intervallen einfacher Töne? Eigentlich nicht. Zwar sagt Helmholtz, dass dabei Combinationstöne mit einander schweben, doch müssen wir Folgendes bedenken. Diese Combinationstöne fehlen, wenn jeder einzelne Ton allein klingt, denn sie entstehen ja erst bei der Combination. Wenn nun ein Ton m mit einem Ton n einen Combinationston l bildet, so sagt man: die Berechnung zeigt uns, dass, wenn ich statt n den Ton $n + \Delta$ nehme, zwei Töne $l + \Delta$ und $l - \Delta$ entstehen, die mit einander schweben müssen. — Thatsächlich jedoch bestehen diese zwei Töne $l + \Delta$ und $l - \Delta$ nicht, denn wenn die Primärtöne einzeln klingen, fehlen sie vollständig, und wenn die Primärtöne zusammenklingen, hört man einen Ton l, der seine Intensität periodisch wechselt. Auf das Bestehen von $l + \Delta$ und $l - \Delta$ hat man nur theoretisch aus dem schwebenden Ton l geschlossen. Thatsächlich ist es so, dass der Klang $m + (n + \Delta)$ periodisch wechselnd einen Combinationston l mit Maximum- und mit Minimum-Amplitude (resp. Ampl. = 0) hat, und zwar ist das so, weil $n + \Delta$ in der unmittelbaren Nähe von n liegt, welcher Ton zu m in einer gewissen Beziehung steht. Es ist also der Fall der einfachen Töne mit dem Combinationston nicht ganz analog dem Fall der Klänge mit Obertönen. Im letzten Fall sind die zwei schwebenden Töne l wirklich vorhanden, auch in den unverstimmten Klängen $m + l$ und $n + l$; auch jetzt (ohne Verstimmung) muss bei verschiedener Phasenbeziehung von $m + l$ und $n + l$ die Stärke von l verschieden sein. Bei den einfachen Tönen aber, wo l ein Combinationston ist, sind die theoretisch abgeleiteten Töne $l + \Delta$ und $l - \Delta$ bei den unverstimmten Tönen m und n nicht vorhanden. Was beiden Fällen gemeinsam ist, das ist ein Klangfarbenwechsel unter Einfluss der

Veränderung der Phasenbeziehung. Im ersten können wir sagen, dass er durch Vermittlung des Schwebens von zwei nah an einander liegenden Tönen zu Stande kommt; im zweiten Fall aber müssen wir sagen, dass wenn m und $n + \Delta$ zusammenklingen, abwechselnd eine zusammengesetzte Bewegung resultirt, die im Ohre ausser den Primärtönen den Combinationston l entstehen lässt, und eine andere zusammengesetzte Bewegung, wodurch im Ohr der Combinationston l nicht entsteht. Sagen wir dann weiter, dass wir das Zusammenklingen von m und $n + \Delta$ betrachten dürfen (weil Δ klein im Vergleich mit n) als Zusammenklingen von m und n unter Wechsel der Phasenbeziehung, so müssen wir schliessen, dass m und n bei einer gewissen Phasenbeziehung den Combinationston l erzeugen, bei einer anderen Phasenbeziehung nicht, und somit ein directer Einfluss der veränderten Phasenbeziehung auf die Klangfarbe vorliegt.

V.

Unseren Betrachtungen theilweise analog sind diejenigen Rudolph Koenig's in „Quelques Expériences" S. 222 u. f. Es seien daraus zwei Passus erwähnt:

S. 223: „Que la différence de phase des harmoniques doive exercer une influence sur le timbre, c'est ce qui résulte déjà de ce seul fait, que les intervalles harmoniques troublés font entendre des battements, quelle que soit d'ailleurs l'origine qu'on assigne à ces derniers."

Die Schwebungen der harmonischen Intervalle (d. h. der Intervalle von der Form $n : k\,n$, wobei k eine ganze Zahl) werden von Einigen mit, von Anderen (Rud. Koenig) ohne Hülfe des Obertones der tieferen Note erklärt. Im ersteren Falle betrachtet man sie also als Schwebungen des Klanges $n + k\,n$ mit dem verstimmten Ton $(k\,n \pm \Delta)$, im zweiten Falle als Schwebungen des Tones n mit dem Tone $(k\,n \pm \Delta)$. Offenbar kann nur der zweite Fall mit einer Note, bestehend aus einem Grundton n und einem Oberton $k\,n$ verglichen werden. Wenn der Oberton $k\,n$ jedes Mal in einer verschiedenen Phasenbeziehung zu dem Grundton n steht, so repräsentirt jeder dieser Zustände ein verschiedenes Stadium der Schwebung des Tones n mit dem verstimmten Tone $k\,n \pm \Delta$. Ist also die König'sche Erklärung ohne Hülfe des Obertones richtig, so muss die Phasenbeziehung eines Obertones zu dem Grundtone theoretisch (d. h. abgesehen von der Deutlichkeit und Grösse der entstehenden Klangfarbenunterschiede) einen Einfluss auf die Art des Klanges haben.

S. 224: „M. Helmholtz, à la vérité, en parlant du changement de timbre qui s'observe pendant un battement de deux sons qui forment une octave légèrement inexacte, n'y voit, ‚qu'une exception purement apparente' à la règle établie par lui, d'après laquelle la différence de phase est sans influence sur le timbre, ‚puisque ce changement peut se ramener à un changement d'intensité de l'un des deux sons'; mais si le timbre dépend précisément de l'existence des harmoniques et de leur intensité relative, et si cette intensité relative est modifiée par la différence de phase, il est clair que l'influence de cette dernière sur le timbre n'est pas seulement apparente, mais très réelle. D'après ce qui vient d'être dit, il ne s'agit donc plus de chercher si la différence de phase peut exercer une influence sur le timbre, mais seulement de déterminer cette influence et de voir ce qu'elle peut être suivant les circonstances, et jusqu'à quel point l'oreile est capable de l'apprécier."

„Changement d'intensité de l'un des deux sons", was nur heissen kann „eines der beiden Primärtöne", ist nicht genau, was Helmholtz gesagt hat. Er hat gesagt „eines der Töne". Das erstere trifft nur zu für die Octave, das letztere auch für die Verstimmung der anderen Intervalle, wobei nicht einer der Primärtöne, sondern der Combinationstöne seine Stärke wechselt.

Wenn man dieser Behauptung Koenig's in gewissem Sinne beistimmen muss, so kann sie nicht den Helmholtz'schen Gedanken bestreiten von der Einflusslosigkeit der Phasenbeziehung von Tönen, die im Labyrinth vollständig von einander geschieden sind, wie das nach seiner Vorstellung mit den Klängen, bestehend aus Grundton und einer Reihe harmonischer Obertöne, sicher der Fall sein müsste. Wir sehen, dass auch Koenig dahin zielt, zu behaupten, dass, wenn Töne sich nach verschiedener Phasenbeziehung mit einander vereinigen, in der Luft, in dem einen Fall im Ohre eine etwas andere Summe von Tönen (d. h. eine Summe, worin einige Glieder eine andere Stärke haben, oder auch einige andere Glieder vorkommen) entsteht, als in einem anderen Falle. Es wird also dabei schon angenommen, dass der Klangcharakter jedenfalls bestimmt wird durch die Anwesenheit und die Stärke der einzelnen Klangglieder (Töne) im Labyrinthe, wie das auch aus den oben citirten Worten „mais si le timbre dépend précisément de l'existence des harmoniques et de leur intensité relative" u. s. w. hervorgeht.

VI.

Lord Kelvin hat Versuche über verstimmte Intervalle gemacht[1]). Unter günstigen Umständen und genügender Aufmerksamkeit konnte selbst ein ungeübtes Ohr „a variation of the quality of the sound recurring periodically“ bestimmt wahrnehmen. Diese periodische Veränderung nannte er „the beat on the imperfect harmony“ (die Schwebung des verstimmten Intervalles). Von der Octavenschwebung sagt er:

„I have found, that the beats of the 1 : 2 harmony are most easily perceived when the intensity of the higher note is comparatively faint, as would be the case if they were explained by Helmholtz's theory that they are the beats on the approximation to unison which there is between the higher note and the first overtone of the lower note. But the simple harmonic character of the two constituent tones at the entrance of the ear precludes the acceptance of this theory unless extended, as it has actually been by its author to the interior mechanism of the ear.“

Hieraus scheint hervorzugehen, dass auch Lord Kelvin meinte, dass Helmholtz diese Schwebungen nur aus dem vorhandenen oder im Ohre gebildeten Obertone erklärte. Wir wissen jedoch, dass Helmholtz die Schwebungen auch ohne jede Mitwirkung von Obertönen möglich fand und sie dann, für andere Intervalle ebenso wie für die Octave, aus den Combinationstönen erklärte. Richtig ist es allerdings, dass er im Mittelohr nicht nur Combinationstöne entstehen liess, sondern aus dem Wirklich-gehört-werden dieser Töne die Möglichkeit ableitete, dass auch schwache harmonische Obertöne daselbst entständen, wie aus Beilage XII der Tonempf. und aus diesem Passus[1]) hervorgeht:

„Da das menschliche Ohr leicht Combinationstöne gibt, wofür wir die in seiner Construction liegenden ursächlichen Momente oben angegeben haben, so muss es auch bei starken einfachen Tönen Obertöne bilden, wie es die Stimmgabeln und die von den Stimmgabeln erregten Luftmassen bei den beschriebenen Beobachtungen thun, und wir werden desshalb nicht leicht die Empfindung eines

---

1) On Beats of Imperfect Harmonies by Sir William Thomson. Proc. Roy. Soc. of Edinburgh vol. 9.

2) Tonempfindungen S. 264.

starken einfachen Tones haben können, ohne auch die Empfindung seiner harmonischen Obertöne dabei zu haben."

Ferner bemerken wir, dass Thomson bei seinen Versuchen die Stimmgabeltöne als einfache betrachtete und dass er vielleicht, wie auch L. Hermann gegenüber R. Koenig behauptet hat, die Schwebungen den Obertönen würde zugeschrieben haben, falls er sie als nicht frei von diesen letzten betrachtet hätte. Hermann sagt, dass er sich mit der Erklärung der Schwebungen aus den Obertönen Helmholtz anschliesst; wir haben aber oben (Cap. III) darauf gewiesen, dass Helmholtz die Schwebungen auch bei einfachen Tönen möglich erachtete, und zwar durch die Combinationstöne.

VII.

Wir müssen jetzt also diese zwei Fragen aufstellen, die ich vorläufig nicht eingehend besprechen werde:

1. Sind die Stimmgabeltöne wirklich einfach oder sind sie von Obertönen begleitet?

2. Wenn die Stimmgabelklänge Obertöne haben, müssen wir dann die Schwebungen der verstimmten Intervalle ihrer Existenz zuschreiben, oder sie ohne Zuhülfenahme jener erklären, oder bestehen vielleicht zwei Schwebungsarten zugleich, davon die eine aus den vorhandenen Obertönen ihren Ursprung nimmt?

In Bezug auf die erste Frage scheinen die meisten tieferen Stimmgabeln, nicht zu schwach angeschlagen, den ersten oder die ersten Obertöne neben dem Grundtone zu produziren.

Helmholtz[1]) hörte mit geeigneten Resonatoren die Obertöne einer Gabel mit 64 Schwingungen bis zum fünften, wenn sie stark angeschlagen war, wobei ihre Schwingungsamplitude fast einen Centimeter betrug. Ferner sagt er: „Dagegen schwinden diese Obertöne beim Austönen der Gabel lange vor dem doch auch nur sehr schwach hörbaren tiefen Grundtone derselben, entsprechend der von uns gemachten Voraussetzung, dass sie auf Störungen beruhen, die von der Grösse der Amplitude abhängen."

Koenig[2]) meinte, dass seine mit Resonanzkasten versehenen Stimmgabeln keine Obertöne gaben.

1) Tonempfindungen S. 263.

2) Quelques Exp. d'Acoustique p. 150.

Ferner vergleiche man Stumpf[1]). Er meint, dass es wohl keine Klangquelle gibt, ohne den ersten geradzahligen Theilton.

In Bezug auf die zweite Frage sei bemerkt, dass z. B. Stumpf von zwei Arten Octavenschwebungen spricht, den hohen und den tiefen. In dem erwähnten Aufsatz[1]) behauptet er, „dass die hohen Schwebungen immer bemerkbar sind, wenn der bezügliche, der Gabel nahezu gleiche Oberton der Zunge in dem aus der Röhrenöffnung dringenden Klange vorhanden ist, dass sie dagegen verschwinden, wenn er durch Interferenz beseitigt wird“. Später hat er gemeint, dass dann auch die tiefen Octavenschwebungen verschwinden.

Wir müssen also bei der Erklärung der Schwebungen verstimmter Intervalle, insoweit als es die Octave anbetrifft, ernstlich an den ersten Oberton denken, und in Bezug auf die anderen Intervalle können wir eine Erklärung, die auf die Anwesenheit von Obertönen beruht, jedenfalls nicht von vornherein als falsch betrachten, besonders wenn bei darauf zielenden Versuchen die Gabeln stark angeschlagen worden sind. — R. Koenig ist der Meinung, dass die Schwebungen der Octave, Duodecime u. s. w. (intervalles harmoniques) mit den Obertönen nichts zu schaffen haben und direct aus den Wellencoincidenzen der Primärtöne erklärt werden müssen (Quelques Expér. S. 153, 154, 95).

VIII.

Das Geheimniss der Wellensirene.

Um den Einfluss des Phasenunterschiedes der Obertöne auf die Klangfarbe zu untersuchen, hat Rudolpf Koenig sich der Wellensirene bedient. Um den Klang nicht zuerst aus seinen einzelnen Tönen aufbauen zu müssen, schneidet er in einer Blechscheibe die Curve aus, welche die verlangte Bewegungsform vorstellt. Eine aus einer Spalte strömende Luftlamelle wird durch den ausgeschnittenen Blechscheibenrand periodisch verkürzt und wieder verlängert nach dem Bewegungsgesetz, das in der Curve seinen Ausdruck findet. Er meinte auf diese Weise Klänge mit einer bestimmten Reihe von Obertönen, deren Phasenbeziehung eine bestimmte war, willkürlich in der Luft erzeugen zu können.

Er blies u. a. vier Curven an, die aus derselben Reihe von Theiltönen zusammengesetzt waren, während die einzelnen Sinusoiden

1) Wiedemann's Annalen Bd. 57.

resp. mit ihrem Anfang, mit dem ersten, dem zweiten und dem dritten Viertelteilpunkt zusammenfielen. Er unterscheidet diese vier Fälle, indem er kurzweg sagt, dass die Phasendifferenz resp. ist 0, $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$. Waren die Curven nur aus Grundton und Oktave zusammengestellt, so bekam er den stärksten Ton für den Phasenunterschied $^1/_4$, den schwächsten für die Phase $^3/_4$, während die mittelmässigen Intensitäten den Phasen 0 und $^1/_2$ entsprachen[1]. Er untersuchte sowohl den Fall, dass eine Reihe von Theiltönen mit gleicher Amplitude vorhanden war, als den, wobei die Amplituden nach der Höhe hin stets kleiner genommen waren, sowie auch den Fall, dass die Curven nur aus den ungeradzahligen Theiltönen zusammengesetzt waren. Das Resultat dieser Versuche war folgendes[2]:

„Le son complexe obtenu par la composition d'une série de sons harmoniques, de rang pair aussi bien que de rang impair, a toujours, toute abstraction faite de l'intensité relative des harmoniques, le maximum de force et le timbre le plus plein quand la coïncidence des phases a lieu au $^1/_4$ des ondulations, le minimum de force et le timbre le plus doux quand la coïncidence a lieu aux $^3/_4$ des ondulations; les sons correspondant aux différences de phase O et $^1/_2$ sont compris entre ces deux extrêmes, sous le double rapport de l'intensité et du timbre.

La composition d'une série de sons harmoniques pris dans la série des nombres impairs donne le même son pour les différences de phase $^1/_4$ et $^3/_4$, et aussi le même son pour les différences O et $^1/_2$; mais dans le premier cas, le son est plus fort et plus éclatant que dans le second.“.

So kommt denn auch Koenig zu der Meinung, dass die Veränderungen des Phasenunterschiedes zwischen denselben Theiltönen im Stande sind, Klangfarbenunterschiede zu erzeugen, die mindestens ebenso bedeutend sind als diejenigen, welche man wahrnimmt bei Instrumenten, die einer gleichen Klasse angehören, oder bei gleichen Vocalen, die von verschiedenen Stimmen gesungen werden.

IX.

Wir sehen, dass Koenig bei diesen Versuchen in der Luft bestimmte Bewegungsformen zu erzeugen trachtet und die dabei im

1) Quelques Exp. p. 226, 227.
2) Quelques Exp. p. 242.

Ohre auftretenden Empfindungen mit einander vergleicht. Er achtet also nicht darauf, ob vielleicht irgendwo ausserhalb des Labyrinthes, z. B. im Mittelohr, die Bewegungsformen noch verändert werden, sowie es ja durch etwaiges Entstehen von Combinationstönen und Obertönen der Fall sein könnte. Hierzu muss (im Anschluss an Cap. IV und V) noch Folgendes bemerkt werden:

Obgleich Helmholtz mit seinen elektrischen Stimmgabeln eigentlich nur den Einfluss der Phasen für eine bestimmte Art von Klängen, n. l. denjenigen, welche bestehen aus einem Grundton mit einer Reihe von Obertönen, untersucht hat, zieht er daraus den allgemeinen Schluss [1]), dass das Ohr nicht unterscheidet die verschiedene Form der Wellen an sich genommen, wie das Auge Bilder der verschiedenen Schwingungsformen unterscheiden kann. Das Ohr unterscheide nicht alle verschiedenen Schwingungsformen, sondern nur solche, welche, in pendelartige Schwingungen zerlegt, verschiedene Bestandtheile ergeben; also nicht die Schwingungsformen, die zwar aus denselben Bestandtheilen zusammengesetzt sind, aber sich unterscheiden in ihrer Form in Folge der verschiedenen Phasenbeziehung der zusammenstellenden einfachen Schwingungen.

Wir können nun zwei Fragen stellen:

1. Ist die Behauptung richtig, wenn die Schwingungsform am Eingang des Labyrinthes (nachdem also nach Helmholtz'scher Auffassung die Combinationstöne geformt sind) gemeint ist?

2. Ist sie richtig, wenn die Schwingungsform ausserhalb des Ohres gemeint ist?

Diese Unterscheidung ist auf der Annahme basirt, dass die Combinationstöne im Mittelohr entstehen, und somit die Schwingungsform am Eingang des Labyrinths (hiermit ist nur die Stelle gemeint, von wo ab dieselbe bis an die Stelle der Zerlegung keine Veränderung mehr erleidet) eine etwas andere ist als in der Luft. Nehmen wir nun an, dass das Labyrinth nach Resonatorenart zerlegt, und dass die Resonatorenzerlegung so vor sich geht, dass alle die Sinusschwingungen, die bei linearer Superposition zusammen die zu zerlegende Schwingung geben, als Töne herauskommen, so müssen wir freilich die erste Frage (1.) bejahend beantworten. Denn wenn die Curven nur verschieden sind, weil die Phasen der einzelnen

---

1) Tonempfindungen S. 209.

Sinusschwingungen verschieden sind, werden genau dieselben Töne herauskommen und mit dergleichen Stärke.

Die zweite Frage (2.) muss sicher verneinend beantwortet werden, denn nach Helmholtz selbst entstehen ja bei den Schwebungen der verstimmten Intervalle einfacher Töne gewisse Combinationstöne, durch das Wechseln der Phasenbeziehung in wechselnder Stärke. Das bedeutet, dass die Schwingungsformen, die in der Luft nur durch die Phasenbeziehung ihrer Componenten verschieden sind, am Eingang des Labyrinthes auch durch die Intensitätsbeziehung der Componenten verschieden sein können, so dass durch die Zerlegung in dem einen Fall theilweise andere Töne resp. einige Töne mit anderer Intensität herauskommen als in einem anderen Falle. Es ist dann also der Gesammtklang verschieden durch die verschiedene Phasenbeziehung der Componenten der Schwingung in der Luft: es unterscheidet das Ohr Luftschwingungen, die aus denselben Bestandtheilen zusammengestellt sind und in ihrer Form sich nur unterscheiden durch die Phasenbeziehung der einzelnen Componenten.

Weil wir nun aber weder die Resonatorenzerlegung nach Helmholtz'scher Art noch die Entstehung der Combinationstöne im Mittelohre von vornherein als richtig anerkennen, brauchen wir die obige Unterscheidung nicht zu machen und zuerst nur die Frage beantworten, welcher Art der Einfluss der Phasenbeziehung der Componenten der Luftschwingung auf die Klangempfindung ist. In dieser Richtung suchte offenbar auch die Wellensirene.

Durch diese Bemerkungen hoffe ich einer drohenden Verwirrung abgeholfen zu haben.

X.

Es hat nun Hermann[1]) die Koenig'schen Versuche mit der kleinen Wellensirene wiederholt; er blies dieselben Curven an, die mathematisch in dieser Form vorgestellt werden können:

$$\begin{array}{ll}
\text{I.} & y = \sin x + {}^1/_4 \sin 2x + {}^1/_9 \sin 3x + \ldots\ldots \\
\text{II.} & y = \cos x + {}^1/_4 \cos 2x + {}^1/_9 \cos 3x + \ldots\ldots \\
\text{III.} & y = -\sin x - {}^1/_4 \sin 2x - {}^1/_9 \sin 3x - \ldots\ldots \\
\text{IV.} & y = -\cos x - {}^1/_4 \cos 2x - {}^1/_9 \cos 3x - \ldots\ldots \\
\text{V.} & y = \sin x + {}^1/_9 \sin 3x + {}^1/_{25} \sin 5x + \ldots\ldots \\
\text{VI.} & y = \cos x + {}^1/_9 \cos 3x + {}^1/_{25} \cos 5x + \ldots\ldots
\end{array}$$

In Uebereinstimmung mit Koenig's Wahl und Bezeichnung der Curven „obtenues par la composition des mêmes sinusoïdes harmo-

1) Pflüger's Archiv Bd. 56 S. 470.

niques, coïncidant respectivement à l'origine, au quart, à la moitié et aux trois quarts de leur longueur", schreiben wir sie am deutlichsten so:

I. $y = \sin 2\pi \cdot nt + \frac{1}{4} \sin 2\pi \cdot 2nt + \frac{1}{9} \sin 2\pi \cdot 3nt + \ldots\ldots$

II. $y = \sin 2\pi (nt + \frac{1}{4}) + \frac{1}{4} \sin 2\pi (2nt + \frac{1}{4}) + \frac{1}{9} \sin 2\pi (3nt + \frac{1}{4}) + \ldots\ldots$

III. $y = \sin 2\pi (nt + \frac{1}{2}) + \frac{1}{4} \sin 2\pi (2nt + \frac{1}{2}) + \frac{1}{9} \sin 2\pi (3nt + \frac{1}{2}) + \ldots\ldots$

IV. $y = \sin 2\pi (nt + \frac{3}{4}) + \frac{1}{4} \sin 2\pi (2nt + \frac{3}{4}) + \frac{1}{9} \sin 2\pi (4nt + \frac{3}{4}) + \ldots\ldots$

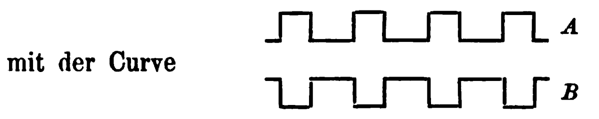
V. $y = \sin 2\pi \cdot nt + \frac{1}{9} \sin 2\pi \cdot 3nt + \frac{1}{25} \sin 2\pi \cdot 5nt + \ldots\ldots$

VI. $y = \sin 2\pi (nt + \frac{1}{4}) + \frac{1}{9} \sin 2\pi (3nt + \frac{1}{4}) + \frac{1}{25} \sin 2\pi (5nt + \frac{1}{4}) + \ldots\ldots$

Koenig benennt die Curven so, dass I eine solche mit dem Phasenunterschied 0, II eine mit dem Phasenunterschied $\frac{1}{4}$, III mit dem Phasenunterschied $\frac{1}{2}$ u. s. w. ist. Es sei beiläufig bemerkt, dass, wenn Phase, d. h. Anfangsphase, den Werth p in dem Ausdruck $\sin 2\pi (nt + p)$ bedeutet, und Phasenunterschied die Beziehung (Differenzen) der Werthe p in den verschiedenen Gliedern einer Curve, obenstehende Curven eigentlich alle denselben Phasenunterschied haben, n. l. Null. Dies bedeutet natürlich nicht, dass die Curven nicht verschiedener Form sind. Hermann kam zu demselben Resultat als Koenig, insoweit als die Curve II einen sehr scharfen und lauten Klang gab, Curve IV einen sehr schwachen. Er sagt jedoch, es auffallend zu finden, dass V kaum anders klingt als I und III, und dass dieser Umstand uns argwöhnisch gegen die Wirkung der Sirene machen muss. Koenig antwortet darauf, dass in bestimmten Tonhöhen der Unterschied deutlich genug ist. Hermann hat nun den Eindruck, den auch Andere in Bezug auf diese Versuche vielleicht bekommen haben, in eine Art Regel niedergelegt, über welche Koenig jedoch sich spottend auslässt. Die Regel lautet: Der Schall ist unter übrigens gleichen Umständen am schärfsten, wenn die Spaltöffnung durch die Curve so plötzlich als möglich verdeckt oder freigelegt wird, und zwar wirkt plötzliche Verdeckung weit schärfer als plötzliche Oeffnung.

Hermann hat nun auch[1]) Blechscheiben genommen mit auf eine gewisse willkürliche Weise rechteckig ausgeschnittenen Rändern, und untersucht, was für Klänge diese producirten. Er verglich die Curve[2])

mit der Curve



1) Wiedemann's Annalen Bd. 58 S. 396.

2) Die Curven A und B sollten eigentlich dieselbe Form haben wie A und B in der Zeichnung auf S. 348.

A hat schmale Zähne, *B* schmale Einschnitte; *A* gibt einen äusserst schwachen, *B* einen äusserst scharfen Klang, obgleich die beiden Bleche vollkommen complementär zu einander sind. Auch führt Hermann noch an, dass man bei gleichzeitigem Anblasen von *A* und *B* die beiden Töne völlig ungeschwächt hört, und dass die Klänge von zwei Curven, die nur durch die Phasen der Componenten sich unterscheiden, viel mehr unterschieden sind als diejenigen zweier Curven, davon die eine aus allen, die andere aus nur ungeraden Theiltönen aufgebaut ist.

Es muss bemerkt werden, dass die Versuche mit den Curven *A* und *B* mittelst der erwähnten Regel Hermann's eigentlich durchaus nicht erklärt werden können. Es finden ja in *A* und *B* genau dieselbe Anzahl plötzlicher Oeffnungen und Verdeckungen der Spalte statt.

XI.

Weil ich selbst nun auch meine, dass durchaus kein Grund vorhanden ist, um anzunehmen, dass die Wellensirene genau die Luftbewegung erzeugen würde, welche die angeblasene Curve vorstellt, so will ich versuchen, mir eine Vorstellung davon zu bilden, wo die erwähnten grossen Unterschiede des Klanges bei den verschiedenen Curven wohl herstammen könnten. Am rationellsten ist es, dafür zunächst die einfach gestalteten, willkürlich gewählten Hermannschen Curven *A* und *B* zu nehmen.

Es fällt zunächst schon auf, dass bei *A* die Intensität und Schärfe des Klanges eine viel geringere ist als bei *B*, obgleich bei *A* während eines viel grösseren Theiles der Periode die Spalte frei ist. Es ist, als ob bei *B* die Kraft besser ausgenutzt wird zur Bildung des Schalleffectes.

Sobald die Spalte frei wird, wird die Luft aus derselben ausströmen. Der Luftdruck vor der Spalte wird dadurch erhöht bis zu einem Maximum, wobei ein Gleichgewicht besteht zwischen dem Zuströmen von Luft und dem Ausgleich mit der Umgebung. Während des Ansteigens des Druckes wird die Schnelligkeit dieses Ansteigens stets geringer und des Ausgleiches mit der Umgebung grösser werden. Der Druck steigt also, während die Spalte frei ist, an nach einer Linie, die zu Anfang steil ist und allmählich weniger steil wird. Wird die Spalte verlegt, so sinkt der Druck in der Gegend der Spalte wieder ab bis auf die Norm. Dieses Ab-

sinken geschieht desto schneller, je nachdem der Ueberdruck ein grösserer ist, also nach einer Linie, die zuerst steil und allmählich weniger steil abfällt. Das Absinken des Druckes auf die Norm bei verdeckter Spalte wird, weil dabei nur die Elasticität der Luft wirkt, langsamer stattfinden als das Ansteigen des Druckes bei freier Spalte. Dieser Unterschied wird geringer mit Zunahme der mittleren Grösse des Druckes bei abwechselndem Oeffnen und Verlegen der Spalte, so dass ein Zustand geschaffen wird, wobei regelmässige Druckschwankungen um eine Mittelgrösse stattfinden. Je intensiver diese Druckschwankungen sind, desto grösser wird die Intensität des erzeugten Schalles sein; diese wird jedoch nicht abhängen von der mittleren Grösse des Druckes, um welche die Schwankungen in der Gegend vor der Spalte stattfinden.

Es geht hieraus hervor, dass die Schwankungen des Luftdruckes bei den Blechcurven *A* und *B* etwa von einander sich unterscheiden müssen wie in nachstehender Figur angegeben. Während bei *A*

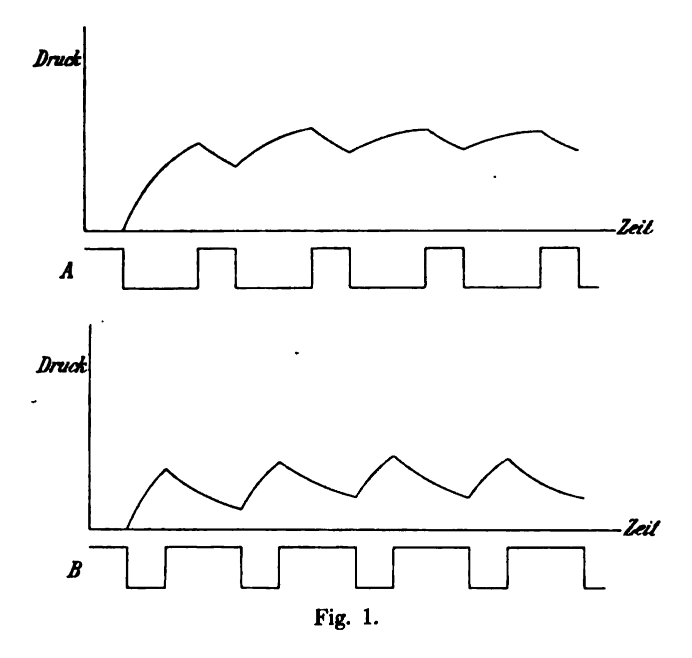


Fig. 1.

die Druckgrösse, um welche die Schwankungen stattfinden, grösser ist, ist die Amplitude der Schwankung kleiner. Bei *B* ist die Spalte längere Zeit verlegt; der Druck kann währenddem bis näher an die Norm herabsinken, die Amplitude der Druckschwankung ist eine

viel grössere als bei *A*. Ausserdem sind die Gipfel der Druckcurve ausgeprägter. Es wird also bei *B* ein Schall erzeugt werden, der stärker ist und mehr Obertöne enthält, also zugleich schärfer ist als der bei *A* erzeugte.

Betrachtet man nun in diesem Lichte die, Anfang Cap. X, durch mathematische Formeln vorgestellten, Koenig'schen Blechcurven[1]), so sieht man sogleich ein, dass die Blechcurve II (nach Koenig die Curve mit dem Phasenunterschied ¹/₄), welche diese Form hat

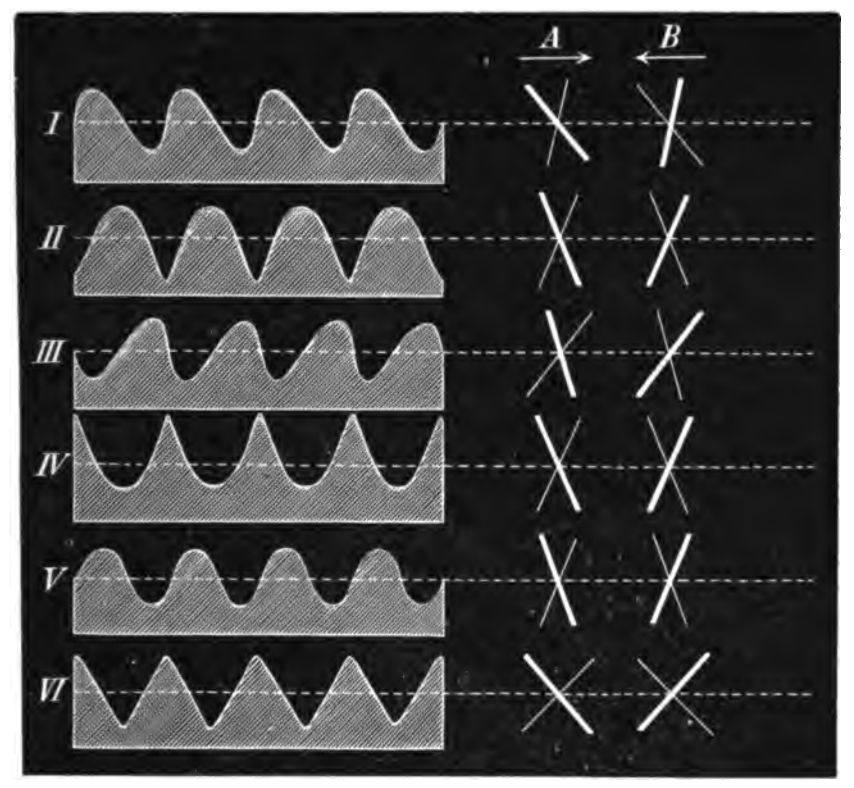


Fig. 2.

in demselben Sinne wirken muss wie Hermann's Curve *B*, während die Curve IV (nach Koenig diejenige mit dem Phasenunterschied ³/₄), welche die umgekehrte Form hat, mit *A* verglichen werden kann.

---

1) Siehe Figur 2, übernommen aus dem Hermann'schen Aufsatz: Pflüger's Archiv Bd. 56 S. 469, wonach unsere Figur 2 deren rechte Hälfte ausser unserem jetzigen Betrachtungskreis liegt.

Es hat n. l. Curve II schmale Einschnitte und breite Zähne wie *B*, während Curve IV schmale Zähne und breite Einschnitte hat wie *A*. Nur ist die Sache hier etwas weniger einfach, weil II und IV nicht wie *A* und *B* aus geraden Linien aufgebaut sind. Bei I und III sowohl wie bei V und VI sind die Einschnitte und die Zähne gleich breit (siehe Figur 2). Es stimmt dies Alles mit den Versuchen, wobei II einen scharfen und lauten, IV einen sehr schwachen Klang erzeugte, während I und III mittlere Klänge producirten. Auch erklärt diese Betrachtungsweise die Thatsache, die Hermann als besonders auffallend bezeichnete, dass Blechcurve V kaum einen von I und III verschiedenen Klang hervorbringt.

Wir sehen nun aus diesen Betrachtungen auch, dass es keinen Grund gibt, anzunehmen, dass die Wellensirene Luftbewegungen erzeugt, welche durch die angeblasenen Blechcurven vorgestellt werden. Von den verschiedenen Eigenschaften des Klanges wird offenbar nur die Tonhöhe (bei einer bestimmten Drehgeschwindigkeit) einen voraus zu bestimmenden Werth haben können. Die Wellensirene kann daher für die Untersuchung des Phaseneinflusses auf die Klangfarbe nicht verwendet werden.

Man soll in dem Obigen keineswegs eine Methode der Construction der Luftbewegungen sehen, die von der Wellensirene erzeugt werden, sondern nur den Versuch, uns eine Vorstellung davon zu bilden, wo es etwa herrühren möchte, dass die verschiedenen Blechcurven die scheinbar von den Phasenbeziehungen stammenden bedeutenden Unterschiede der Intensität und der Klangfarbe hervorbringen.

XII.

Ueber die Versuche L. Hermann's mit dem Phonographen siehe man dieses Archiv Bd. 56 S. 467. Seine Hauptresultate in Bezug auf die Phasenfrage sind diese: „dass die zeitlich umgekehrte Abspielung einer Klangschwingung eine vollständige Veränderung der Phasenverhältnisse mit sich bringt, und da diese Umkehrung die Klangfarbe absolut unverändert lässt, so ist in aller Strenge und noch weit unmittelbarer als durch die Helmholtz'schen Stimmgabelversuche bewiesen, dass die Klangfarbe von den Phasenverhältnissen unabhängig ist".

„Vollständige Umkehr der Bewegung in Bezug auf Richtung hat nicht den allergeringsten Einfluss auf die Klangfarbe, die Curven II

und IV müssen also gleich klingen, wenn es wirklich gelingt, eine ihnen entsprechende Bewegung herbeizuführen.

Da eine solche Umkehrung der Ordinaten auch zu Stande kommt, wenn jeder Partialton sich in der Phase um $\frac{\pi}{2}$ (?) „verschiebt, so ist durch den Versuch auch bewiesen, dass Verschiebungen der Phasen um eine halbe Periode ohne Einfluss auf die Klangfarbe sind“.

Hermann nennt den Edison'schen Phonographen die vollkommenste aller Wellensirenen, und in der That könnte man sich kein besseres Instrument vorstellen, womit die Umkehrung in Bezug auf Zeitverlauf und Bewegungsrichtung so ausgezeichnet zu bewerkstelligen wäre. Dieser Umstand und die Feinheit des Apparates beweisen jedoch noch nicht, dass die erwähnten Versuche in Bezug auf unsere specielle Frage die feinsten sind, die überhaupt angestellt werden könnten. Hermann hat, insoweit als aus seinem Aufsatz hervorgeht, keine bestimmten Klänge mittelst des Phonographen studirt, die sich nur unterscheiden durch einen bekannten, grossen Unterschied in der Phasenbeziehung. Bei dem Versuche, wodurch die völlige Einflusslosigkeit der Phasenverhältnisse bewiesen werden soll, werden alle Phasen regellos durch einander geworfen; es ist meiner Meinung nach nicht einmal wahrscheinlich, dass die dadurch entstehenden Klänge auffallend von den ursprünglichen verschieden sein sollten. Einen auffallenden Unterschied kann man nur erwarten, wenn irgend ein Factor des Phasenverhältnisses das eine Mal in maximo, das andere Mal in minimo vorhanden ist. Die Wahrnehmung des Unterschiedes aber wird am allerleichtesten sein, wenn die Schwankung jenes Factors sich periodisch wiederholt.

Um die Phasen in so beharrlicher Weise ihren Einfluss üben zu lassen, habe ich die folgende Untersuchung über Schwebungen von Dreiklängen angestellt, wodurch die Frage vielleicht in eine neue Phase treten möchte[1]).

Wo aber je die schönen Koenig'schen Sirenen Euch, o Akustiker, verführerisch zurufen möchten:

---

1) Die Versuche wurden gemacht mit den Instrumenten und in dem akustischen Saal des Psychologischen Instituts der Kgl. Friedr. Wilhelms-Universität zu Berlin. Ich spreche hierbei dem Herrn Director Professor Dr. Stumpf meinen herzlichsten Dank aus für seine grosse Gastfreundschaft und Bereitwilligkeit.

„Horcht, wir kommen hier zu Scharen
Und in wohlgestimmten Tönen;
So geziemet es Sirenen",

da möchte ich Euch warnen mit den Worten der Sphinxe (sie verspottend in derselben Melodie):

„Nöthigt sie, herabzusteigen!
Sie verbergen in den Zweigen
Ihre garstigen Habichtskrallen,
Euch verderblich anzufallen,
Wenn ihr euer Ohr verleiht."

Zweiter Abschnitt.

Ueber Schwebungen und Combinationstöne verstimmter Dreiklänge.

XIII.

Für die Schwebungen von Mehrklängen, wovon ein Ton ein wenig verstimmt ist, leitet Sir William Thomson[1]) aus den Zusammenstellungen von mehreren einfachen Schwingungen zu Complexen von grösserer Periode folgendes Gesetz ab:

„For two or more notes which are in perfect harmony" (d. h. die $k-1$ reinen Töne des verstimmten k-Klanges) „imagine one whose period is the period of their harmony. Take this as if it were one tone of an approximate binary harmony, the false note of the given harmony being the other. Example: Let the frequencies of the three notes be 257, 320, and 384: the common period of the two last-mentioned is $^1/_{64}$ of a second, and we have to calculate the beats on two notes whose frequencies are 64 and 257. The harmonic numbers of the harmonies to which these notes approximate are 1 and 4, and the error in frequency of the higher note is 1 per second; hence the beats are at the rate of 1 per second."

Der Autor scheint die Gültigkeit dieser Regel nur an dem genannten Beispiel von der Form $4d:5d:6d$ (mit einer der drei Noten um den Betrag Δ verstimmt) geprüft zu haben.

Hat man $4d \pm \Delta$, $5d$ und $6d$, so bilden jede 5 Schwingungen von $5d$ mit 6 Schwingungen von $6d$ eine zusammengesetzte

1) Proc. Roy. Soc. of Edinburgh Session 1877—1878. „On Beats of Imperfect Harmonies."

Schwingung; $5d$ und $6d$ bilden eine Zusammenstellung von der Frequenz d. d und $4d \pm \Delta$, als Zweiklang (binary harmony) betrachtet, geben Δ-Schwebungen.

Bei $4d$, $5d \pm \Delta$ und $6d$ bilden jede 2 Schwingungen des Tones $4d$ mit 3 des Tones $6d$ ein Complex; $4d$ und $6d$ geben eine zusammengesetzte Schwingung von der Frequenz $2d$. $2d$ und $5d \pm \Delta$ geben, als Zweiklang betrachtet nach der hierfür bestehenden Regel („The frequency of the beat is equal to the error of frequency of one note multiplied by the harmonic number of the other"), 2Δ-Schwebungen.

Ebenso erhält man bei $4d$, $5d$, $6d \pm \Delta$ wieder Δ-Schwebungen.

XIV.

Wir werden sehen, dass die Berechnung bei diesem Dreiklang mit den Thatsachen übereinstimmt. Nehmen wir jedoch den Dreiklang $5d:6d:7d$, so müssten wir bei Verstimmung eines beliebigen der drei Töne um Δ-Schwingungen immer die gleiche Anzahl von Δ-Schwebungen erwarten. Denn sowohl $5d$ und $6d$, als $5d$ und $7d$, als $6d$ und $7d$ bilden eine Zusammensetzung von der Frequenz d, woraus hervorgeht, dass sowohl bei Verstimmung von $7d$, als von $6d$, als von $5d$ um den Betrag Δ, die Anzahl der Schwebungen gleich Δ sein müsste. Um diese Erwartung gleich mit den Thatsachen zu vergleichen, nahm ich die drei Appunn'schen Resonanzgabeln 250, 300 und 350 und verstimmte nach einander jede der drei Gabeln. Bei diesem Vorversuch stellte sich gleich die Unrichtigkeit der obigen Erwartung heraus. Es gaben:

$$\left\{\begin{array}{ll} 5d - \Delta & = 250 - \Delta \\ 6d & = 300 \\ 7d & = 350 \end{array}\right\} \Delta\text{-Schwebungen.}$$

$$\left\{\begin{array}{ll} 5d & = 250 \\ 6d - \Delta & = 300 - \Delta \\ 7d & = 350 \end{array}\right\} 2\,\Delta\text{-Schwebungen.}$$

$$\left\{\begin{array}{ll} 5d & = 250 \\ 6d & = 300 \\ 7d - \Delta & = 350 - \Delta \end{array}\right\} \Delta\text{-Schwebungen.}$$

Ich vermuthete nun, als wäre die Regel diese, dass man die Anzahl der Schwebungen erhielte, wenn man den Betrag der Verstimmung multiplicirte mit der Differenz der einfachsten Verhältnisszahlen der beiden unverstimmten Töne. Es würde das stimmen

sowohl für den Dreiklang $4d:5d:6d$ als für $5d:6d:7d$. Diese Dreiklänge stimmen insofern mit einander überein, als für beide die Verhältnisszahlen drei direct auf einander folgende ganze Zahlen sind; ihr Unterschied liegt darin, dass beim erstgenannten der mittlere Ton eine ungerade und die beiden äusseren gerade Verhältnisszahlen haben, während beim zweiten die mittlere Zahl eine gerade und die äusseren ungerade sind. Im ersten Fall geben die äusseren Zahlen immer eine Zusammensetzung von der Frequenz 2, weil zwei gerade Zahlen, die um 2 differiren, immer die doppelten sind von zwei neben einander liegenden ganzen Zahlen, davon die eine gerade und die andere ungerade ist; d. h. man erhält in diesem Falle auch nach der Thomson'schen Regel bei Verstimmung der mittleren Note um Δ für die Anzahl der Schwebungen den Betrag 2Δ.

XV.

Ich habe nun eine Anzahl von Dreiklängen geprüft zunächst auf die Anzahl der Schwebungen, aber ferner auch auf die Art der Schwebungen, d. h. besonders die Localisation der Schwebungen auf bestimmte Töne der Klangmasse. Denn nur beim rohesten Versuch und durchweg starkem Anschlagen ist es möglich, dass man sich damit zufrieden stellt, einfach Schwebungen zu constatiren und sie dem ganzen Klangcomplex zuzuschreiben. Auch kann man nicht immer ohne Weiteres von der Anzahl der Schwebungen eines bestimmten Dreiklanges reden, weil oft mehrere Arten von Schwebungen auftreten; entweder indem die Schwebungen der einzelnen Zweiklänge theilweise hörbar bleiben neben den Dreiklangschwebungen, oder weil bei verschiedenem Anschlagen der Gabeln verschiedene Arten von Schwebungen herauskommen, oder selbst bei fast jeder Weise von Anschlagen eine unregelmässige Schwebungsart, die man als eine Mischung von zwei oder mehr Schwebungsarten erkennen kann, sich dem Beobachter darbietet.

Es stellte sich bald heraus, dass die Schwebungen durchweg einem oder einigen Combinationstönen anhaften, und besonders bei leisem gleich starken Anschlagen gewöhnlich einem besonderen dieser Combinationstöne deutlich und ausschliesslich angehören. Es war also wahrscheinlich, dass man dem Wesen der Combinationstöne näher treten könnte dadurch, dass man die zusammengesetzten Curven für die verschiedenen Phasen der Schwebungsperioden zeichnete und mit einander verglich. Während n. l. die Schwebungen der ver-

stimmten Zweiklänge mit grösseren Verhältnisszahlen schwer und nur bei starkem Anschlagen oder wenn man die Gabeln dicht vor dem Ohre hält, zu hören sind, sind die Schwebungen der verstimmten Dreiklänge sehr leicht zu hören, und meist schon bei sehr leisem Anschlagen. Dies gilt um so mehr im Allgemeinen, als die Dreiklänge von einfacherem, regelmässigerem Baue sind. Wovon dieser einfache Bau abhängt, das stellte sich eben aus der Untersuchung sehr schön heraus.

Die Deutlichkeit der Schwebungen einiger Dreiklänge gegenüber denen der Zweiklänge ist auch Lord Kelvin aufgefallen. Er sagt:

„In every instance except the octave, the beat on the approximation to a binary harmony is less distinct than the beat on an approximation to a ternary or higher multiple harmony with only one note false."

Dass man meistens die Dreiklangschwebungen schon bei sehr leisem Anschlagen hört, ist sehr wichtig. Man wird dadurch nicht so leicht dazu kommen, sie dem Einflusse von Obertönen zuzuschreiben, besonders weil sie durchweg auf Combinationstöne, die tiefer sind als die Primärtöne, localisirt sind. Lord Kelvin hat n. l. die Zweiklangschwebungen ohne Zuhilfenahme der Obertöne direct aus den Superpositionscurven zu erklären gesucht. Andere haben, besonders in Bezug auf die Octavenschwebungen, dem nicht beigestimmt. Auf diese theoretischen Sachen komme ich später zurück. Jetzt will ich nur die Ergebnisse meiner Schwebungsversuche mittheilen.

XVI.

Ich nenne die Töne der Gabeln $\alpha\, d$, $\beta\, d$ u. s. w., dabei sind α, β die einfachsten Verhältnisszahlen des Drei- oder Zweiklangs, die mit d multiplicirt werden müssen, um die Schwingungszahl des gemeinten Tones zu bekommen. Die Anzahl der Schwingungen, um die ein Ton verstimmt worden ist, wird mit Δ angedeutet, die Anzahl der Schwebungen pro Secunde mit s. Wenn ich sage $s = \frac{23}{5}$, so heisst das, dass ich in 5 Secunden 23 Schwebungen gezählt habe, und dass es schwer oder unmöglich war, bei einer gewissen Stärke des Anschlagens die Schwebungen 10 Secunden lang deutlich genug zu hören. Wo dies möglich ist, schreibe ich $s = \frac{46}{10}$. Es bedeutet nun z. B. $4\,d - \Delta$, wobei $d = 150$, eine Appunn'sche Gabel auf

Resonanzkasten von 600 Doppelschwingungen, die um den Betrag Δ-Schwingungen nach der Tiefe hin verstimmt ist. Ist $d = 100$ oder $= 150$ oder $= 300$, so sind die gebrauchten Gabeln Appunn'sche; ist $d = 256$, so sind es Koenig'sche. Alle Gabeln wurden jedes Mal beim Anfang eines Versuches gänzlich rein zu einander gestimmt.

XVII.

4 : 5 : 6; $d = 150$.

Gabeln: $4d - \Delta$
$5d$ $\qquad \Delta = \frac{8}{10}; \; z = \frac{8}{10} = \Delta.$
$6d$

Δ wird leicht bestimmt aus den Zweiklangschwebungen, wie folgt:

$4d - \Delta$, $5d$: $\quad z = \frac{40}{10} = 5\,\Delta$, also $\Delta = \frac{8}{10}$ oder

$4d - \Delta$, $6d$: $\quad z = \frac{24}{10} = 3\,\Delta.$

(Hierbei bedeuten immer die Töne der Zweiklänge die unveränderten [also genau gleichhohen] Gabeln des untersuchten Dreiklangs. Um das Verhältniss von z zu Δ festzustellen, werden immer mehrere Versuche gemacht mit verschiedenem Betrag von Δ; von diesen wird jedes Mal nur einer als Beispiel erwähnt.)

Bei leisem gleich starkem Anschlagen der drei Gabeln hört man nur den Ton $3d$ (= 450) schweben. Bei stärkerem Anschlagen treten die Zweiklangschwebungen stark in den Vordergrund.

Schlägt man $4d - \Delta$ und $5d$ gleich stark, $6d$ leiser an, so hört man zugleich

Δ-Schwebungen des Tones $3d$ (450) und
5Δ- " " " d (150)[1].

Man hört nicht alle 5Δ-Stösse, sondern bei jedem Stoss von $3d$ ein Paar Stösse auf d im Rhythmus 5Δ. Bei verschiedenem Anschlagen ferner noch eigenthümliche Combinationen dieser Schwebungsarten.

Schlägt man $4d - \Delta$ und $6d$ gleich stark, $5d$ leiser an, so hört man zugleich

3Δ-Schwebungen auf dem Tone $2d$[2]) und
Δ- " " " " $3d$.

1) Grosse-Terz-Schwebungen.
2) Quinten-Schwebungen.

Die charakteristischen Schwebungen dieses Dreiklanges sind also Δ-Schwebungen; diese bestehen in Stössen des Tones $3\,d$, sie sind sehr deutlich und bleiben so lange hörbar wie die Primärtöne.

Bei nicht starkem Anschlagen hört man den Ton d überhaupt nicht. Bei starkem Anschlagen überherrschen die Terzenschwebungen $5\,\Delta$ auf d oder die Quintenschwebungen $3\,\Delta$ auf $2\,d$. Nur bei zufällig richtigen Intensitätsverhältnissen hört man von je 3 Stössen des Tones $2\,d$ den ersten stärker und dem Tone d (150) anhaftend. Das würden also Δ-Schwebungen auf den Ton d sein. Dies wird besonders erwähnt, weil man bei einer gewissen Berechnung diese Δ-Schwebungen auf d am ersten erwarten würde. Es würden das n. l. die Schwebungen der Differenztöne

$$5\,d - (4\,d - \Delta) = d + \Delta \text{ und } 6\,d - 5\,d = d \text{ sein.}$$

Wenn man $5\,d$ und $6\,d$ gleich stark anschlägt, und $4\,d - \Delta$ sehr leise, so hört man sehr deutlich, und wenn man $4\,d - \Delta$ leise genug anschlägt, ausschliesslich, Δ-Schwebungen des Tones $4\,d$, d. h. also die Schwebungen des Primärtones $4\,d - \Delta$ mit dem secundären Differenztone $2 \times 5\,d - 6\,d = 4\,d$. Ist $4\,d - \Delta$ nicht leise genug angeschlagen, so hört man zugleich die Δ-Schwebungen des Tones $3\,d$.

$$\begin{matrix} 4\,d \\ 5\,d - \Delta; \\ 6\,d \end{matrix} \quad \Delta = \frac{13}{10}; \; s = \frac{26}{10} = 2\,\Delta.$$

$$\Delta \text{ berechnet aus } \begin{matrix} 4\,d \\ 5\,d - \Delta \end{matrix} \; s = \frac{52}{10} \text{ also } \Delta = \frac{13}{10}.$$

Bei diesem Dreiklang ist besonders deutlich, wie bei nicht zu lautem Anschlagen die Schwebungen fast ausschliesslich und sehr bestimmt dem Tone $3\,d$ anhaften, und wie bei sehr leisem Anschlagen von $4\,d$ (600) und stärkerem der anderen zwei Gabeln, dieselben absolut auf $4\,d$ localisirt sind.

Bei starkem Anschlagen der drei Gabeln haften die Schwebungen dem ganzen Accorde der Combinationstöne: d, $2\,d$ und $3\,d$ an; allmählich werden die Töne d und $2\,d$ undeutlich und bleibt nur der schwebende $3\,d$. Mit diesen Schwebungen ist immer der Rhythmus $2\,\Delta$ gemeint.

$$\begin{matrix} 4\,d \\ 5\,d \\ 6\,d - \Delta \end{matrix} \quad \Delta = \frac{27}{10}; \; s = \frac{27}{10} = \Delta.$$

Wieder ist die Localisation der Schwebungen dieselbe. Bei nicht zu lautem Anschlagen ausschliesslich dem Tone $3\,d$ anhaftend; bei

leisem Anschlagen von $4d$ und stärkerem von $5d$ und $6d - \varDelta$ schwebt $4d$. Der Rhythmus bleibt dabei derselbe.

XVIII.

$4:5:6;\ d = 100.$

Die Prüfung dieses Dreiklangs gab principiell die nämlichen Ergebnisse wie der vorige.

$$\begin{matrix} 4d - \varDelta \\ 5d \\ 6d \end{matrix} \qquad \varDelta = \frac{11}{10};\ z = \frac{11}{10} = \varDelta;$$

$$\varDelta \text{ bestimmt aus } \frac{4d - \varDelta}{6d} \quad z = \frac{33}{10} \text{ also } \varDelta = \frac{11}{10}.$$

Bei leisem, gleichstarkem Anschlagen haften die $\varDelta$ Schwebungen dem Tone $3d$ an. Wenn ich das so sage und keine sonstigen Combinationstöne erwähne, die ohne Schwebungen gehört werden, so sind die eben bei dem leisen Anschlagen gar nicht hörbar. Die Gabeln werden durchaus nicht vor dem Ohre gehalten, sondern stehen auf Gummiröhren, welche auf dem Tisch liegen, gewöhnlich ungefähr $^1/_2$ m vom Ohre entfernt. Ich sitze dabei meistens so, dass eines der beiden Ohren den Gabeln, die dicht neben einander stehen, zugewandt ist.

Bei leiserem Anschlagen von $4d - \varDelta$ haften die $\varDelta$-Schwebungen diesem Tone an.

Bei stärkerem Anschlagen hört man d und $3d$ im selben Rhythmus schweben. Es haften dann sozusagen die Schwebungen dem Accord der Combinationstöne an, auch dem Combinations- und Primärtone $4d$.

Es wurde noch bemerkt, dass die Schwebungen (bei leisem Anschlagen) auf dem Tone $3d$ noch etwas deutlicher sind, wenn $6d$ etwas leiser als die anderen zwei Gabeln geschlagen wird.

$$\begin{matrix} 4d \\ 5d - \varDelta \\ 6d \end{matrix};\ \varDelta = \frac{12}{10};\ z = \frac{24}{10} = 2\varDelta.$$

Die Localisation der Schwebungen auf den verschiedenen Tönen ist genau dieselbe wie beim vorigen Versuche; nur der Rhythmus ist zwei Mal so schnell. Oft wird auch der Primärton $6d$ im gleichen Rhythmus schwankend gehört.

$$\begin{matrix} 4d \\ 5d \\ 6d - \varDelta \end{matrix} \qquad \varDelta = \frac{16}{10};\ z = \frac{16}{10} = \varDelta.$$

Wieder werden die Schwebungen bei leisem und bei stärkerem Anschlagen genau auf denselben Tönen gehört wie vorher; die Primärtöne bei stärkerem Anschlagen (neben den deutlich schwebenden Combinationstönen) mehr oder weniger schwankend im gleichen Rhythmus.

XIX.

$5:6:7;\ d=100.$

$$\begin{matrix} 5d-\Delta \\ 6d \\ 7d \end{matrix} \quad \Delta=\frac{11}{10};\ s=\frac{11}{10}=\Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 4d \\ 5d-\Delta \\ 6d \end{matrix};\ s=\frac{22}{10} \text{ also } \Delta=\frac{11}{10}.$$

Bei sehr leisem Anschlagen schwebt $4d$. Bei nur etwas zu lautem Anschlagen ist immer zugleich $3d$ deutlich und deutlich schwebend vorhanden. Bei langsamen Schwebungen ist ausserordentlich deutlich zu hören, dass die Stärkemaxima von $3d$ und von $4d$ nicht coincidiren, sondern regelmässig abwechseln.

Schlägt man stärker an, so hört man $1d$ (100) und $3d$ (300) deutlich schwebend und mit einander abwechselnd; allmählich wird d undeutlicher und tritt $4d$ hervor; jetzt wechseln wieder die Stärkemaxima von $3d$ mit denen von $4d$ ab, so dass die von $4d$ in dieselben Zeitpunkte fallen als die von d, n. l. in die Stärkeminima des Tones $3d$. Auch gelingt es (in der Periode des Klingens zwischen dem Stärkevorhandensein von d und dem von $4d$) diese beiden Töne zugleich zu hören, mit ihren Stärkemaxima zusammenfallend und beide mit denen von $3d$ regelmässig abwechselnd.

Schlägt man $5d-\Delta$ sehr leise und $6d$ und $7d$ weniger leise an, so sind die Schwebungen deutlich und ausschliesslich auf $5d$ localisirt. Schlägt man nur etwas zu wenig leise an, oder sind die Intensitäten nicht richtig genug vertheilt, so tritt immer der schwebende Combinationston $4d$ neben $5d$ auf, so dass man diese grosse Terz schweben hört. Fast immer wird man $4d$ noch neben $5d$ hören.

Die Anzahl der Schwebungen bleibt bei diesen Modificationen unverändert.

$$\begin{matrix} 5d \\ 6d-\Delta \\ 7d \end{matrix};\ \Delta=\frac{7}{10};\ s=\frac{14}{10}=2\Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 5d \\ 6d-\Delta \end{matrix}\ s=\frac{35}{10} \text{ also } \Delta=\frac{7}{10}.$$

Bei sehr leisem gleichstarkem Anschlagen (besonders *5 d* nicht leiser als *6 d* und *7 d*) hört man *2 Δ*-Schwebungen, die deutlich und ausschliesslich dem Tone *4 d* (400) anhaften. Wird nur etwas zu wenig leise angeschlagen, so kommt ein im selben Rhythmus *2 Δ* schwebender Ton *3 d* hinzu; wird stärker angeschlagen, so hört man *d* (100) und *3 d* (300) sehr deutlich im Rhythmus *2 Δ* schweben. Der schwebende *4 d* ist dann etwas verdeckt, tritt jedoch nach einer Weile (d. h. nachdem die Gabeln eine Zeitlang geklungen haben) um so deutlicher hervor und ist zuletzt der hauptsächlichste oder einzige schwebende Ton. Für das Deutlichsein des schwebenden Tones *d* scheint es vortheilhaft, besonders die Gabel *6 d — Δ* (den mittelsten Primärton) nicht leiser als die anderen beiden anzuschlagen. Die Stärkemaxima von *d* und *3 d* scheinen nicht zu coincidiren, sondern mit einander abzuwechseln. Dieses Scheinen wird zur Sicherheit, sobald man die Schwebungen genügend langsam nimmt. Erst bei lautem Anschlagen hört man die Abwechslung von *d* und *3 d*: dann, wenn *d* allmählich verschwindet, die von *4 d* und *3 d*, so dass die Maxima von *d* und von *4 d* auf die gleichen Zeitpunkte fallen.

Wird *5 d* viel leiser als *6 d — Δ* und *7 d* angeschlagen und zugleich im Allgemeinen sehr leise, so hört man sehr deutliche Schwebungen im Rhythmus *2 Δ*, die ausschliesslich dem Tone *5 d* angehören. Wird im Allgemeinen zu wenig leise angeschlagen, so kommt immer der im Rhythmus *2 Δ* schwebende *4 d* hinzu. Die Stärkemaxima von *5 d* und *4 d* scheinen dabei fast, aber nicht gänzlich zusammenzufallen. Die beschriebenen ausschliesslich auf *5 d* localisirten Schwebungen, die sehr leicht und sicher hervorzubringen sind, können erklärt (wenigstens berechnet) werden als Schwebungen des Primärtones *5 d* und des (in Wirklichkeit deutlich hörbaren) secundären Differenztones *5 d — 2 Δ* des Zweiklangs *(6 d — Δ) : 7 d*.

Hat man gleich stark angeschlagen, so hört man gewöhnlich beim Ausklingen wieder nur auf *5 d* localisirte Schwebungen.

$5\,d$
$6\,d \qquad \Delta = \frac{43}{10}; \; z = \frac{42}{10}; \; \Delta$ bestimmt aus $\frac{700}{700 - \Delta}\; z = \frac{43}{10}.$
$7\,d - \Delta$

Bei leisem Anschlagen hört man die Schwebungen auf dem Combinationstone *4 d*. Bei starkem Anschlagen haften sie dem Chorus der Combinationstöne *d*, *2 d* (?), *3 d*, *4 d* an. Die Maxima von *d* und *3 d* wechseln mit einander ab.

Bei leiserem Anschlagen von $5d$ und weniger leisem von $6d$ und $7d - \varDelta$ hört man die Schwebungen auf dem Tone $5d$.

Der Rhythmus der Schwebungen bleibt bei diesen Modificationen gleich $\varDelta$.

XX.

Flüchtige Analyse des unverstimmten Dreiklangs $5d$, $6d$, $7d$.

Diese wird gemacht für eventuelle spätere theoretische Betrachtungen, z. B. um zu sehen, inwiefern die Schwebungen zu beberechnen sind aus den wirklich hörbaren Differenztönen. Eine **flüchtige** Analyse hat den Vortheil, dass sicher keine Töne hineingehört werden, und dass man also von einer eventuellen theoretischen Erklärung der Combinationstöne auf jeden Fall über die hier erwähnten Töne Aufschluss erhalten muss.

$d = 100$; wir haben also die Gabeln 500, 600 und 700.

$\left.\begin{array}{l}5d.\\6d.\end{array}\right\}$ Dieser Zweiklang gibt bei sehr leisem Anschlagen nur, aber deutlich den Combinationston $4d$.

Schlägt man etwas weniger leise an, so ist auch $3d$ sehr deutlich. Schlägt man noch etwas stärker an, so kommt auch der Ton d deutlich hinzu.

Bei flüchtiger Analyse ist es nicht sicher zu entscheiden, ob auch $2d$ da ist, ich glaube es nicht.

$\left.\begin{array}{l}5d\\7d\end{array}\right\}$ gibt schon bei sehr leisem Anschlagen einen deutlichen Combinationston $3d$, besonders deutlich, wenn $5d$ etwas weniger leise ist als $7d$. Bei stärkerem Anschlagen tritt $2d$ hinzu. Als ich die Gabeln längs dem Ohre hin und her bewegte (sonst stehen sie auf dem Tische ungefähr $1/2$ m vom Ohre entfernt), hörte ich an einer Stelle regelmässig einen rauhen Ton d, nur an dieser bestimmten Stelle, in der Mitte zwischen den Gabeln. Dieser Ton scheint also ein genauer bestimmtes Intensitätsverhältniss der Primärtöne zu fordern, was für $3d$ fast gänzlich fehlt. Einige Mal meinte ich $4d$ zu hören, doch will ich nicht behaupten, dass es keine Octavenverwechslung mit $2d$ war.

$\left.\begin{array}{l}6d\\7d\end{array}\right\}$ gibt schon bei sehr leisem Anschlagen $5d$ langdauernd und deutlich; bei etwas weniger leisem Anschlagen $4d$ deutlich und ziemlich lang andauernd. Bei stärkerem Anschlagen d (100); und

an einer bestimmten Stelle (beim Bewegen der Gabeln vor dem Ohre) $3\,d$, so dass dieser Ton sehr vom Intensitätsverhältniss abhängig ist.

Den Ton $3\,d$ hatte ich früher einmal, als ich den Klang $6\,d$: $(7\,d + \varDelta)$, d. h. den verstimmten Zweiklang untersuchte, entdeckt. Damals habe ich aufgeschrieben: Bewegt man die Gabeln zusammen vor dem Ohre hin und her, so wird gleich nach dem Anstreichen der Ton d (100) sehr deutlich an verschiedenen Stellen gehört. Kommt das Ohr an die bestimmte Stelle, so werden zugleich die Schwebungen und der Ton $3\,d$ vernehmbar. Man erkennt jetzt deutlich, dass die Schwebungen des Zweiklangs ausschliesslich oder mindestens hauptsächlich dem Tone $3\,d$ anhaften. Dass dieser Ton bei der Untersuchung des unverstimmten Klanges zuerst nicht gehört war, rührt wohl daher, dass er nur an der bestimmten Stelle gehört wird. Auch ist es im Allgemeinen leichter, die Combinationstöne schwebend als frei von Schwebungen herauszufinden, wenn sie sehr schwach sind. Das ist wohl einfach so aufzufassen, dass die Empfindung bei der geringen Intensität leichter zum Bewusstsein gelangt, wenn sie intermittirend von Null auf ihre Maximalstärke heranwächst.

XXI.

$4:5:7$; $d = 100$.

$4\,d - \varDelta$
$5\,d$ $\qquad \varDelta = \frac{10}{10}$. Zuerst wurde gehört der Rhythmus $2\,\varDelta\left(\frac{20}{10}\right)$
$7\,d$

bei nicht starkem Anschlagen anscheinend hauptsächlich dem Tone $3\,d$ anhaftend; auch machte es öfters den Eindruck, dass auch der höchste Primärton $(7\,d)$ im gleichen Rhythmus schwebte. Es fiel mir auf, dass meistens von jedem Paar von zwei Stössen die beiden Stösse nicht den gleichen Abstand hatten, ungefähr wie der Herzrhythmus. Es machte den Eindruck, als ob zugleich ein Rhythmus von $3\,\varDelta$ oder einer von $\varDelta$ vorhanden wäre.

Es wurde nun auch einige Mal der Rhythmus $3\,\varDelta\left(\frac{30}{10}\right)$ gezählt. Durch verschieden lautes Anschlagen der Gabeln fand ich nun Folgendes heraus:

Wird $5\,d$ etwas leiser angeschlagen als $4\,d$ und $7\,d$, so hört man bei zufällig richtigem Treffen der Intensitäten den Rhythmus $3\,\varDelta$ auf dem Tone $3\,d$ und oft auch auf dem höchsten Primärtone $7\,d$. Der Rhythmus $3\,\varDelta$ ist ziemlich schwer rein herauszubekommen,

wenigstens dem Tone *3 d* anhaftend. Einige Mal haftet er (bei starkem Anschlagen) auch dem Tone *d* an. Den Rhythmus *2 Δ* kann man immer sicher herausbekommen, wenn man die Gabel *5 d* etwas stärker anschlägt als die anderen zwei. Der Rhythmus ist dann ganz regelmässig und ganz deutlich dem Tone *3 d* besonders anhaftend. Bei starkem Anschlagen (und *5 d* etwas stärker) hört man ausser diesen Schwebungen gewöhnlich noch *Δ*-Stösse auf *d*.

Es gibt dieser Dreiklang also drei Schwebungs-Rhythmi:

Δ, *2 Δ* und *3 Δ*.

Von diesen drei ist der für den Dreiklang am meisten charakteristische *2 Δ*: dieser ist am leichtesten und sichersten hervorzubringen, der deutlichste und lauteste, und ist für ihn starkes Anschlagen durchaus nicht erforderlich. Sehr vortheilhaft nur ist es für diesen Rhythmus, dass *5 d* etwas stärker angeschlagen wird als die anderen zwei.

Die *5 Δ*-Schwebungen des Zweiklangs (*4 d — Δ*): *5 d* werden gar nicht herausgehört aus dem Dreiklang. Selbst wenn man *4 d — Δ* und *5 d* vor das Ohr hält, so dass man sehr deutlich die *5 Δ*-Zweiklangsschwebungen hört, dann braucht man den auf dem Tisch stehenden *7 d* nur leise klingen zu lassen, um sofort die *5 Δ*-Schwebungen gänzlich verschwinden und für den Rhythmus *2 Δ* des verstimmten Dreiklangs Platz machen zu lassen. Diese *2 Δ*-Schwebungen haften jetzt dem Tone *d* an. Es ist dies also wieder eine neue Schwebungsart und zwar dem Fall angehörend, dass *7 d* viel leiser klingt als die beiden anderen Gabeln.

Es kommt auch vor, dass man die drei Rhythmi *Δ*, *2 Δ* und *3 Δ* zugleich hört; man hört dann *Δ* dem Tone *d*, *2 Δ* dem Tone *3 d*, *3 Δ* dem höchsten Primärtone *7 d* anhaften.

4 d *5 d — Δ* *7 d*	Beim ersten, ungefähr gleich starken, aber nicht starken Anschlagen, hört man einen Rhythmus, den man als einen unregelmässigen *3 Δ*-Rhythmus be-

zeichnen muss. Es macht wieder den Eindruck, ob mehr als eine Art Schwebungen zugleich vorhanden wäre. Von den *3 Δ*-Stössen sind je drei zu einem System vereinigt, so dass man sie am leichtesten als *Δ* solche Systeme zählt. Auch macht es oft den Eindruck, als ob von je drei Stössen einer fehlte; auch oft, als ob der erste von je drei durch einen Stoss auf einer tieferen Note, n. l. *d* (100) verdeckt würde. Ich fand nun durch Ausprobiren, dass der Rhythmus *3 Δ* ganz oder fast ganz regelmässig (d. h. dass die einzelnen Stösse

einander alle gleich sind) herauszukriegen ist dadurch, dass man die Gabel $5d - \varDelta$ stärker anschlägt als $4d$ und $7d$. Die $3\varDelta$-Schwebungen haften dann dentlich dem Combinationstone $3d$ an. Oft ist dann noch von je drei Stössen einer begleitet von einem Stoss auf dem Tone d; das sind also $\varDelta$-Schwebungen auf d.

Schlägt man sie alle drei stark an, so hört man zuerst $2\varDelta$-Stösse auf d (dieser Ton d ist klangartig, es betheiligen sich also schon in dieser Periode mehrere Combinationstöne an der Schwebung); dieser Rhythmus geht allmählich über in $\varDelta$-Stösse auf d mit daneben $3\varDelta$ auf $3d$.

Wir haben also wieder d r e i v e r s c h i e d e n e Rhythmi: $\varDelta$, $2\varDelta$ und $3\varDelta$. Davon ist als der für diesen Dreiklang am meisten charakteristische der Rhythmus $3\varDelta$ zu betrachten, weil er bei nicht zu starkem Anschlagen der Gabeln regelmässig, sicher und leicht herauszubekommen ist.

$$\begin{array}{l} 4d \\ 5d \\ 7d - \varDelta \end{array} \qquad \varDelta = \frac{20}{10};\ z = \frac{20}{10} = \varDelta.$$

Die drei Gabeln geben, nicht laut angeschlagen, ja selbst schon wenn sie s e h r l e i s e a n g e s c h l a g e n werden, ganz deutliche und regelmässige Schwebungen im Rhythmus $\varDelta$. Diese Stösse haften ganz bestimmt dem Combinationstone $3d$ an; sie sind durch ungleich starkes Anschlagen der Gabeln gar nicht wegzukriegen.

S c h l ä g t m a n d i e G a b e l n s t a r k a n, so meint man zuerst einen Rhythmus $2\varDelta$ wahrzunehmen. Jedoch nur gleich nach dem Anschlagen, bevor man die Zeit gehabt hat, die Schwebungen auf ihre bestimmte Töne zu localisiren. Ferner hört man dann, dass dem Tone d ein Rhytmus $\varDelta$ anhaftet, und auch dem Tone $3d$ ein gleicher Rhythmus $\varDelta$. Der Eindruck des Rhythmus $2\varDelta$ ist darauf zurückzuführen, dass die Stärkemaxima der Töne d und $3d$ n i c h t z u s a m m e n f a l l e n, s o n d e r n m i t e i n a n d e r a b w e c h s e l n. Localisirte man die Schwebungen nicht, so könnte man dies wirklich einen Schwebungsrhythmus $2\varDelta$ nennen. Der Sachverhalt ist jedoch deutlich so, wie ich ihn geschildert habe. Die Schwebungen auf dem Tone d werden ziemlich rasch undeutlicher; es bleiben dann die sehr deutlichen $\varDelta$-Schwebungen auf dem Tone $3d$ allein fortbestehen.

XXII.

$5:7:9;\ d = 100.$

$$\begin{matrix} 5d - \Delta \\ 7d \\ 9d \end{matrix} \quad \Delta = \frac{15}{10};\ s = \frac{15}{10} = \Delta.$$

Schlägt man die drei Gabeln leise an, so hört man deutlich Δ-Schwebungen; sie haften bei diesem leisen, gleich starken Anschlagen deutlich und ausschliesslich dem Tone $3d$ an. Es muss bemerkt werden, dass der höchste Primärton oft im gleichen Rhythmus zu schweben scheint; doch macht dies wieder mehr den Eindruck eines unvollständigen Schwebens, eines Schwankens.

Schlägt man die Gabeln stark an, so bleibt der Rhythmus Δ auf $3d$ sehr deutlich; es kommt etwas weniger deutlich der Ton $2d$, im selben Rhythmus Δ schwebend, hinzu.

Schlägt man $7d$ und $9d$ leise an, $5d - \Delta$ sehr leise, so hört man wieder Δ-Schwebungen; diese haften jetzt deutlich und ausschliesslich dem Tone $5d$ an. Schlägt man nach einer Weile $5d - \Delta$ auf's Neue an, so kommt der starke, schwebende $3d$ wieder zurück.

Man macht den Versuch, wobei eine der Gabeln, in casu $5d - \Delta$, leiser klingen muss als die anderen zwei, am besten so, dass man zuerst die drei Gabeln leise und gleich stark anschlägt, sie eine Zeit lang klingen lässt und dann nur $7d$ und $9d$ noch ein Mal leise und gleich stark anschlägt. Im gleichstarken Anschlagen und überhaupt in dem Schätzen und Vergleichen der Intensitäten des Anschlagens bekommt man bald eine grosse Uebung.

$$\begin{matrix} 5d \\ 7d - \Delta \\ 9d \end{matrix} \quad \Delta = \frac{17}{10};\ s = \frac{34}{10} = 2\Delta.$$

Die Schwebungen haften bei nicht lautem bis sehr leisem Anschlagen deutlich und ausschliesslich dem Tone $3d$ an (abgesehen davon, dass wieder der höchste Primärton öfters im gleichen Rhythmus 2Δ schwankend erscheint, wie auch der mittlere $7d$; diese Schwankungen sind meistens noch eine Zeit lang hörbar, wenn der schwebende Combinationston $3d$ schon nicht mehr gehört wird. Doch machen diese Primärtonschwebungen nie einen so scharf definirten Eindruck).

Bei stärkerem Anschlagen kommt ein nicht sehr deutlicher, im Vergleich mit $3d$ sehr schwacher, etwas rauher Ton $2d$ hinzu, der

im gleichen Rhythmus 2Δ schwebt; jedoch sind diese Schwebungen viel undeutlicher als die auf $3d$.

Es scheint mir meistens, dass die Stärkemaxima der Primärtöne, so weit man sie schweben hört, mit denen des Tones $3d$ abwechseln.

Schlägt man $5d$ leise an im Vergleich mit $7d - \Delta$ und $9d$, so sind die Schwebungen absolut auf $5d$ localisirt; der Rhythmus ist derselbe (2Δ). Wenn dabei nicht sehr laut angeschlagen wird, hört man auch keine anderen Combinationstöne; es sei beiläufig bemerkt, dass der Zweiklang $7d:9d$, nicht laut angeschlagen, nur $5d$ hören lässt, und auch der Zweiklang $5d:7d$, wenn $5d$ leiser als $7d$ angeschlagen wird, den Combinationston $3d$ nicht producirt.

$$\begin{matrix} 5d \\ 7d \\ 9d - \Delta \end{matrix} \qquad \Delta = \frac{23}{10}; \; z = \frac{23}{10} = \Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus: } \begin{matrix} 6d \\ 9d - \Delta \end{matrix} \; z = \frac{46}{10}, \text{ also } \Delta = \frac{23}{10}.$$

Bei leisem Anschlagen wieder einfache regelmässige Schwebungen, die deutlich dem Tone $3d$ anhaften. Bei starkem Anschlagen kommt wieder $2d$, im gleichen Rhythmus Δ schwebend, hinzu; $2d$ klingt etwas rauh, $3d$ nicht.

Wieder deutliche und ausschliessliche Localisation der Schwebungen auf $5d$, sobald $7d$ und $9d - \Delta$ bedeutend lauter sind als $5d$. Wird dabei im Allgemeinen nicht stark angeschlagen, so hört man keine sonstigen Combinationstöne. Wird dagegen im Allgemeinen stärker (und also $7d$ und $9d$ stark) angeschlagen, so hört man die Combinationstöne $3d$ und $2d$ (diesen etwas schwächer), die man auch beim Zweiklang $7d:9d$ hört; jetzt, da die drei Gabeln nicht ungefähr gleich stark angeschlagen sind, treten $3d$ sowohl als $2d$ völlig stätig (frei von Schwebungen) auf.

Flüchtige Analyse der Zweiklänge.

$5d:7d$ gibt $3d$ stark; $2d$ schwach.
$5d:9d$ „ d schwach.
$7d:9d$ „ $5d$ sehr deutlich; $3d$ deutlich; $2d$ schwach.

Es sei bemerkt, dass weder bei $5d:7d$, noch bei $7d:9d$, ein Ton d (100), Ohm's unbedingter Combinationston gehört wurde (bei diesen nicht sehr lauten, relativ einfachen Tönen). Ueber den unbedingten und den bedingten Combinationston finden wir in Pogg.

Ann. Bd. 47 S. 463 (Bemerkungen über Combinationstöne und Stösse von G. S. Ohm) Folgendes:

„Ist $m' : n'$ das Tonverhältniss zweier Töne, so dass deren Schwingungsmengen durch $m'd$ und $n'd$ vorgestellt werden können, so wird bei dem gleichzeitigen Erklingen jener beiden Töne stets ein Combinationston erzeugt, dessen Schwingungsmenge d ist. Dies ist der vor Hällström bekannte Combinationston, welcher durchaus an keine Ordnung geknüpft ist, wesswegen ich ihn den unbedingten nenne; . . . ."

„Ausser diesem unbedingten Combinationstone ist noch ein anderer möglich, dessen Schwingungsmenge $(m' - n')\,d$ ist, wenn m' die grössere der beiden Zahlen m' und n' bezeichnet. Es ist diess der von Hällström sogenannte erste Combinationston. Sein Erscheinen ist jedoch an die Bedingung geknüpft, dass die Schwingungsformen der beiden ihn erzeugenden Töne einander ähnlich seyen, wesswegen ich ihn den bedingten nenne."

XXIII.

5 : 7 : 11; $d = 100$.

$$\begin{matrix} 5d - \Delta \\ 7d \\ 11d \end{matrix} \qquad \Delta = \frac{13}{10};\ s = \frac{26}{10} = 2\Delta;\ \Delta \text{ bestimmt aus}$$

$$\begin{matrix} 5d - \Delta \\ 7d \\ 9d \end{matrix} \qquad s = \frac{13}{10},\ \text{also}\ \Delta = \frac{13}{10}.$$

Auffallend sind die Schwebungen des höchsten Primärtones ($11\,d$); dennoch sind diese Primärtonschwebungen wieder nicht so scharfe Stösse (scharf heisst: scharf von einander abgegrenzt), sondern mehr lallend oder schwankend, die Stösse gehen in einander über, die Schwebungen scheinen unvollständig. Zugleich hört man jedoch die scharfen Stösse des Combinationstones $3\,d$ im gleichen Rhythmus $2\,\Delta$. Um diese gut zu hören, war es mir vortheilhaft, den Gabeln nicht zu nah zu sitzen; in dem Abstande von $^1/_2$ m sind sie bei mittelstarkem Anschlagen sehr deutlich. Die Schwebungen des Primärtones $11\,d$ erscheinen relativ weniger deutlich, wenn man sich von den Gabeln entfernt.

Bei mittelstarkem Anschlagen ist neben $3\,d$ auch $2\,d$ schon ziemlich deutlich hörbar. Ob $2\,d$ schwebt (im gleichen Rhythmus $2\,\Delta$) ist neben den scharfen Schwebungen von $3\,d$ schwer zu hören; manchmal schien es mir, als ob $2\,d$ frei von Schwebungen war.

Jedenfalls sind die Schwebungen auf $3\,d$ bei diesem Dreiklang die bevorzugten. — Später habe ich hierzu notirt: der Ton $2\,d$ schwebt nicht.

Schlägt man bei diesem Dreiklang, wobei nicht der tiefste Primärton mit dem zweiten Differenzton ($2m—n$) der beiden höheren übereinstimmt, $5\,d-\Delta$ leiser an als $7\,d$ und $11\,d$, so hört man keine Spur von dem Tone $5\,d$ anhaftenden Schwebungen. Sobald man Schwebungen hört, sind sie deutlich auf $3\,d$ localisirt.

$$\begin{matrix} 5\,d \\ 7\,d-\Delta \\ 11\,d \end{matrix} ;\ \Delta = \frac{20}{10};\ z = \frac{60}{10} = 3\,\Delta;\ \Delta \text{ bestimmt aus}$$

$$\begin{matrix} 5\,d \\ 6\,d \\ 7\,d-\Delta \end{matrix} \quad z = \frac{20}{10} \text{ also } \Delta = \frac{20}{10}.$$

Die Localisation der Schwebungen ist genau wie im vorigen Falle. Bei nicht zu starkem Anschlagen, und wenn man den Gabeln nicht zu nahe kommt, ist $3\,d$ der ausschliesslich gehörte Combinationston; er schwebt deutlich. Der höchste Primärton $11\,d$ wie beim vorigen Versuch (d. h. jedoch in dem diesem Dreiklang eigenen Rhythmus $3\,\Delta$). Bei stärkerem Anschlagen $2\,d$ wie oben. Auch bei leiserem Anschlagen von $5\,d$ keine auf diesem Ton localisirte Schwebungen.

$$\begin{matrix} 5\,d \\ 7\,d \\ 11\,d-\Delta \end{matrix} ;\ \Delta = \frac{21}{10};\ z = \frac{21}{10} = \Delta;\ \Delta \text{ bestimmt aus}$$

$$\begin{matrix} 7\,d \\ 9\,d \\ 11\,d-\Delta \end{matrix} \quad z = \frac{21}{10} = \Delta, \text{ also } \Delta = \frac{21}{10}.$$

(Es wurde auch besonders diese Anzahl Δ der Schwebungen durch weitere Versuche, mit anderem Schwebungsrhythmus, die wie immer unerwähnt bleiben, controlirt.)

Localisation wie bei den beiden vorhergehenden Versuchen: Schwebender Ton: $3\,d$. Der Ton $2\,d$ continu, frei von Schwebungen. Die Schwankungen von $11\,d$ (im gleichen Rhythmus) auffallend; ich bezeichne diese Schwebungen mit dem Worte Schwankungen im Gegensatz zu den deutlich stossartigen Schwebungen auf den Combinationstönen.

Hier, wie bei den beiden vorigen Versuchen, fallen die Stärke-

maxima des Combinationstones *3 d* und des Primärtones *11 d* nicht genau zusammen; auch wechseln sie mit einander nicht in ganz gleichem Abstande ab.

XXIV.

Flüchtige Analyse der unverstimmten Combinationen.

5 d:7 d siehe Seite 366.

5 d, *11 d*: Dieser Zweiklang gibt den Combinationston *d*, dumpf und leise. Beim Hin- und Herbewegen der Gabeln vor dem Ohre ist er deutlich; bei mittelstarkem Anschlagen, während die Gabeln ½ m vom Ohre auf dem Tisch stehen, wird er nicht gehört.

7 d, *11 d*: Bei leisem Anschlagen 3 *d* schon deutlich, wenn nur *7 d* etwas lauter als *11 d*. Auch *4 d* bei leisem Anschlagen herauszuhören. Im Allgemeinen 3 *d* und *4 d* sehr leicht wahrzunehmen und beide von langdauerndem Charakter.

Bemerkungen: Man wird manchmal einen Combinationston, den man nur bei starkem Anschlagen hört, gar nicht erwähnt finden. Dass ich immer darauf hinaus gehe, besonders die Erscheinungen zu beobachten, die bei leisem Anschlagen der Gabeln auftreten, hat seinen Grund darin, dass ich die Wirkung von etwa vorhandenen Obertönen so viel wie möglich beschränken will.

Einen Moment glaubte ich beim Zweiklang *7 d : 11 d*, dass der Combinationston *4 d* zu hoch war im Vergleich mit dem Gabelton *4 d*. Es stellte sich heraus,

1. dass dies nicht der Fall war, wenn ich die Gabel 4 *d* nicht lauter klingen liess, als der Combinationston *4 d* gehört wurde.
2. Dass, wenn ich den Combinationston *4 d* nachsang, die Resonanzgabel *4 d* sehr deutlich in Mitschwingung geriet.
3. Die Gabel *4 d* leise angeschlagen und *7 d* und *11 d* stärker, geben keine Schwebungen auf *4 d*.

Der Combinationston *3 d* des Zweiklangs *5 d : 7 d* scheint bei gleicher Stärke des Anschlages nach Schätzung ungefähr zwei Mal so stark[1]) zu sein als *3 d* des Zweiklangs *7 d : 11 d*.

Ich habe öfters, wenn ich einen Combinationston beliebiger

1) Man verzeihe mir den etwas kühnen Ausdruck.

Ordnung sehr deutlich hörte, untersucht, ob eine zu demselben ganz reingestimmte Resonanzgabel in Mitschwingung geriet. Dies war niemals der Fall.

$\left.\begin{matrix} 5\,d \\ 7\,d \\ 11\,d \end{matrix}\right\}$ Der reine Dreiklang (die Gabeln ca. 40 cm vom Ohre) gibt $3\,d$ sehr deutlich, schon bei sehr leisem Anschlagen. $3\,d$ ist dann ebenso laut wie beim Zweiklang $5\,d:7\,d$. Bei dieser Schwäche des Anschlagens hört man beim Zweiklang $7\,d:11\,d$ den Ton $3\,d$ nicht. Schlägt man die drei Gabeln etwas stärker an, so ergibt Auslöschen von $11\,d$ nur ganz geringe Schwächung des Tones $3\,d$. Die Stärke des Tones $3\,d$ beim Dreiklang $5\,d:7\,d:11\,d$ scheint mir geringer zu sein als die Summe der Intensitäten von $3\,d$ des Zweiklangs $5\,d:7\,d$, und $3\,d$ des Zweiklangs $7\,d:11\,d$[1]).

Wenn $3\,d$ laut und deutlich gehört wird, ist der Primärton $11\,d$ des Dreiklangs oft gar nicht herauszuhören, obgleich allein noch ziemlich laut klingend. Auch ist der Primärton $7\,d$ schwerer herauszuhören als der Combinationston $3\,d$.

Bei mittelstarkem Anschlagen der drei Gabeln ist auch $2\,d$ deutlich. Einen Ton $4\,d$ habe ich nicht gehört.

XXV.

$7:9:11$; $d = 100$.

Bei dem Versuche mit dem Dreiklang $5\,d:7\,d\,(11\,d - \varDelta)$ habe ich $\varDelta$ berechnet aus dem Dreiklang $7\,d:9\,d:(11\,d - \varDelta)$, obwohl die Anzahl $\varDelta$ der Schwebungen für diesen letzten Dreiklang eigentlich noch nicht bewiesen war und auch noch kein allgemeines Gesetz für die Anzahl der Schwebungen ausgesprochen worden ist. Ich machte also zuerst durch zwei Versuche aus, dass die Anzahl der Schwebungen bei diesem Dreiklang wirklich gleich ist derjenigen der Schwingungen, um welche die höchste Gabel verstimmt worden ist.

$\begin{matrix} 7\,d \\ 9\,d \\ 11\,d - \varDelta \end{matrix}$ $\quad s = \frac{24}{10}$. Die Gabel $11\,d - \varDelta$ gab mit einer etwas tieferen Gabel $11\,d - \varDelta_{11}$ die Anzahl Schwebungen $s_{11} = \frac{27}{10}$; $11\,d - \varDelta$ war also $\frac{27}{10}$ Schwingungen höher als $11\,d - \varDelta_{11}$.

---

1) Damit sei gesagt, dass die beiden Combinationstöne der Zweiklänge sich nicht summiren, sondern, dass vielmehr der Combinationston des Dreiklangs seine eigene Intensität hat.

$7\,d$
$9\,d$ $\quad s_1 = \frac{11}{10}$. Jetzt wurde $11\,d - \Delta$ etwas höher gestimmt
$11\,d - \Delta_1$

durch Abnehmen von Wachs, so dass Δ zu dem kleineren Betrag Δ_1 wurde; die Gabel $11\,d - \Delta_1$ gab jetzt mit der obengenannten $11\,d - \Delta_{11}$ (der Hülfsgabel) die Anzahl Schwebungen $s_{111} = \frac{40}{10}$; es war also $11\,d - \Delta_1$ um $\frac{40}{10}$ Schwingungen höher als $11\,d - \Delta_{11}$. Aus den beiden Hülfsgabelversuchen ergibt sich also, dass $11\,d - \Delta$ um $\frac{40}{10} - \frac{27}{10} = \frac{13}{10}$ tiefer war als $11\,d - \Delta_1$ oder die Verstimmung Δ $\frac{13}{10}$ mehr betrug als Δ_1. Wir sehen nun, dass die Zunahme der Dreiklangschwebungen in beiden Fällen

$$s - s_1 = \frac{24}{10} - \frac{11}{10} = \frac{13}{10} = \Delta - \Delta_1$$

gleich der Zunahme der Verstimmung der höchsten Primärgabel ist. Auf diese Weise kann man das Verhältniss der Schwebungsanzahl zu der Verstimmung durch Vermittlung einer Hülfsgabel von nicht genau bekannter Höhe leicht bestimmen.

Ueber die Art der Schwebungen bei diesem Dreiklang Folgendes:

Bei leisem gleichstarkem Anschlagen der Gabeln deutliche Schwebungen des Combinationstones $5\,d$ im Rhythmus Δ.

Schon bei etwas weniger leisem Anschlagen auch $3\,d$, im gleichen Rhythmus schwebend. Nach einer Weile ist $3\,d$ verschwunden; $5\,d$ bleibt noch, sehr lange dauernd, anscheinend so lange wie die Primärtöne.

Bei stärkerem Anschlagen auch $2\,d$ hörbar, ebenfalls im Rhythmus Δ schwebend.

Die Schwebungen auf $5\,d$ sind bei weitem die deutlichsten und lautesten; dadurch meint man ab und zu, dass die Schwebungen von $3\,d$ nur durch die starken Schwebungen auf $5\,d$ scheinbar bestehen.

Bei leiserem Anschlagen von $7\,d$ gegenüber $9\,d$ und $11\,d - \Delta$ hört man Δ-Schwebungen scharf auf $7\,d$ localisirt; diese werden ausschliesslich gehört, wenn zugleich im Allgemeinen sehr leise angeschlagen wird, sonst sind immer die Schwebungen auf $5\,d$ auch zu hören.

$$\begin{matrix} 7\,d \\ 9\,d - \varDelta; \\ 11\,d \end{matrix} \quad \varDelta = \frac{15}{10}; \quad z = \frac{30}{10} = 2\,\varDelta;$$

$$\varDelta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 6\,d \\ 9\,d - \varDelta \end{matrix} \; z = \frac{30}{10}, \text{ also } \varDelta = \frac{15}{10}.$$

Die Localisation der Schwebungen ist genau wie beim vorigen Versuch; auch bei leiserem Anschlagen von *7 d* deutlich diesem Tone anhaftend.

$$\begin{matrix} 7\,d - \varDelta \\ 9\,d \\ 11\,d \end{matrix} \quad \varDelta = \frac{19}{10}; \quad z = \frac{19}{10} = \varDelta;$$

$$\varDelta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 5\,d \\ 6\,d \\ 7\,d - \varDelta \end{matrix} \quad z = \frac{19}{10}, \text{ also } \varDelta = \frac{19}{10}.$$

Localisation der Schwebungen und Zusammenhang derselben mit den Intensitätsverhältnissen genau wie bei den vorigen beiden Versuchen.

Flüchtige Analyse der Zweiklänge.

7 d: *9 d* siehe Seite 366.

7 d: *11 d* „ „ 369.

9 d: *11 d* geben schon bei äusserst leisem Anschlagen (mit dem Fingernagel) den Combinationston *7 d*; dieser ist also deutlich, langandauernd und fast von der gleichen Intensität wie die Primärtöne. Bei leisem Anschlagen auch schon *5 d*, bei stärkerem auch *2 d* zu hören.

XXVI.

6 : 7 : 11; *d* = 100.

$$\begin{matrix} 6\,d \\ 7\,d - \varDelta; \\ 11\,d \end{matrix} \quad \varDelta = \frac{5}{10}; \quad z = \frac{25}{10} = 5\,\varDelta:$$

$$\varDelta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 6\,d \\ 7\,d - \varDelta \end{matrix} \; z = \frac{30}{10}, \text{ also } \varDelta = \frac{5}{10}.$$

Bei mittelstarkem Anschlagen schwebt der Combinationston *4 d* im Rhythmus *5 Δ*. Man hört auch den Ton *3 d* und einen dumpfen Ton *d*.

Zuerst meinte ich oft, dass *3 d* im gleichen Rhythmus *5 Δ* schwebte; es ist schwierig festzustellen, weil in dem Moment, wo man die Aufmerksamkeit genügend festgesetzt hat auf *3 d*, nur noch

die Schwebungen auf $4\,d$ zu hören sind; und vor diesem Moment, also wenn die Töne im Bewusstsein noch nicht scharf geschieden sind, hat man auch die Schwebungen noch nicht scharf localisiren können, und hört man sie selbstverständlich auf beiden Tönen.

Die Schwebungen dieses Dreiklangs sind schon ziemlich leise; doch brauchte ich die Gabeln durchaus nicht vor das Ohr zu halten, um sie zu hören.

Der Ton $3\,d$ scheint wesentlich von $7\,d$ und $11\,d$ herzustammen: er wird lauter, wenigstens viel deutlicher hörbar, wenn man, während die drei Gabeln tönen, die tiefste $6\,d$ plötzlich auslöscht.

Schwebungen auf dem tiefsten Primärton $6\,d$, wenn dieser leiser angeschlagen wird als die anderen zwei, kommen nicht zu Stande.

Bemerkung: Beim Gähnen, während die drei Gabeln noch tönten, hörte ich plötzlich den höchsten Primärton $11\,d$ deutlich in den Vordergrund treten. Ich führte dies sogleich auf Anspannung des Tensor tympani zurück. Es stellte sich dann heraus, dass beim willkürlichen Innerviren dieses Muskels jedes Mal $11\,d$ hervortrat, wenn er schon nicht mehr hörbar, und dass er verstärkt wurde, wenn er noch hörbar war. Bei dem Zweiklang $6\,d : 7\,d$ trat jedes Mal der höchste Ton $7\,d$ in den Vordergrund[1]).

$$\begin{matrix} 6\,d - \Delta \\ 7\,d \\ 11\,d \end{matrix} \quad \Delta = \frac{7}{10}; \quad z = \frac{14}{5} = 4\,\Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 6\,d - \Delta \\ 9\,d \end{matrix} \quad z = \frac{21}{10}, \text{ also } \Delta = \frac{7}{10}.$$

Der Ton $4\,d$ schwebt im Rhythmus $4\,\Delta$. Uebrigens wie beim vorigen Versuch. Auch Schwebungen ebenso leise.

$$\begin{matrix} 6\,d \\ 7\,d \\ 11\,d - \Delta \end{matrix} \quad \Delta = \frac{24}{10}; \quad z = \frac{12}{5} = \Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 7\,d \\ 9\,d \\ 11\,d - \Delta \end{matrix} \quad z = \frac{24}{10}, \text{ also } \Delta = \frac{24}{10}.$$

---

1) Ich fand nachher in Politzer's Lehrbuch der Ohrenheilkunde diese Stelle: „Ich habe mich nach Beobachtungen an mir selbst und an Ohrenkranken als Erster dahin ausgesprochen, dass die beim Gähnen eintretende Schwerhörigkeit auf einer Mitbewegung des Tensor tymp. beruhe. Diese Ansicht wurde von Helmholtz bestätigt." (4. Aufl., S. 57.)

Der Ton *4 d* schwebt im Rhythmus Δ, übrigens wie bei den vorigen beiden Versuchen. Ist das Ohr 1/2 m oder noch etwas weiter von den Gabeln entfernt, so hört man bei mittelstarkem Anschlagen die Schwebungen deutlich.

Wir fanden bei dem Dreiklang *6 d : 7 d : 11 d* (um die Ergebnisse in der üblichen Reihenfolge vorzuführen) bei Verstimmung des tiefsten Tones *4* Δ, des mittleren Tones *5* Δ, des höchsten Tones Δ-Schwebungen; diese haften dem Combinationstone *4 d* (und bei nicht zu starkem Anschlagen jedenfalls ausschliesslich diesem Tone) an.

XXVII.

3 : 7 : 11; *d* = 100.

$$\begin{matrix} 3d + \Delta \\ 7d \\ 11d \end{matrix} \quad \Delta = \frac{19}{10}; \; s = \frac{19}{10} = \Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 3d + \Delta \\ 6d \end{matrix} \quad s = \frac{38}{10}, \text{ also } \Delta = \frac{19}{10}.$$

Bei gleich starkem Anschlagen waren die Schwebungen zuerst undeutlich und unbestimmt, jedoch nach einigen Versuchen deutlich zu constatiren, ohne das Ohr den Gabeln sehr zu nähern. Ich schrieb sie den Primärtönen zu, obgleich ich hörte, dass sie diesen nicht scharf anhafteten. Als ich mit dem Ohre nahe an die Gabeln heranging, hörte ich den Ton *d* (100) im gleichen Rhythmus Δ leise, aber scharf schweben (scharf = deutlich einzelne Stösse).

Wenn die Gabel *3 d* + Δ viel leiser angeschlagen wird als *7 d* und *11 d*, hört man deutlich und ausschliesslich *3 d* schweben im gleichen Rhythmus Δ. Das richtige Intensitatsverhältniss ist am leichtesten dadurch herauszufinden, dass man, nach gleich starkem Anschlagen der drei Gabeln, *7 d* und *11 d* wiederholt auf's Neue anschlägt, während *3 d* + Δ ruhig fortklingt. Es kommt dann bald ein Moment, wo die Schwebungen auf *3 d* äusserst prägnant sind.

$$\begin{matrix} 3d \\ 7d - \Delta; \\ 11d \end{matrix} \quad \Delta = \frac{10}{10}; \; s = \frac{20}{10} = 2\Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 5d \\ 6d \\ 7d \quad \Delta \end{matrix} \quad s = \frac{10}{10}, \text{ also } \Delta = \frac{10}{10}.$$

Localisation der Schwebungen genau so wie beim vorigen Versuch, auch bei viel leiserem Anschlagen von *3 d*, auf diesem Tone *2* Δ-Schwebungen.

$$\left.\begin{matrix} 3\,d \\ 7\,d \\ 11\,d - \Delta \end{matrix}\right. \quad \Delta = \frac{22}{10};\ z = \frac{22}{10} = \Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 7\,d \\ 9\,d \\ 11\,d - \Delta \end{matrix} \quad z = \frac{22}{10}, \text{ also } \Delta = \frac{22}{10}.$$

Localisation der Schwebungen und Einfluss des Intensitätsverhältnisses wie bei den vorigen zwei Versuchen.

Flüchtige Analyse.

3 d : *7 d* geben den Combinationston *d*.

3 d : *11 d* bei nicht starkem Anschlagen keine Combinationstöne gehört.

7 d : *11 d* siehe Seite 369.

$\left.\begin{matrix} 3\,d \\ 7\,d \\ 11\,d \end{matrix}\right\}$ Der reine Dreiklang gibt bei mittelstarkem Anschlagen nur ein schwaches *4 d*.

XXVIII.

6 : 7 : 9; *d* = 100.

$$\left.\begin{matrix} 6\,d - \Delta \\ 7\,d \\ 9\,d \end{matrix}\right. \quad \Delta = \frac{5}{10};\ z = \frac{10}{10} = 2\,\Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 4\,d \\ 6\,d - \Delta \end{matrix}\ z = \frac{10}{10}, \text{ also } \Delta = \frac{5}{10}.$$

Bei leisem Anschlagen vernimmt man die Töne *4 d* und *5 d* im Rhythmus *2 Δ* schwebend; schon bei etwas stärkerem Anschlagen ist immer auch *2 d* im gleichen Rhythmus schwebend vorhanden.

Bei äusserst leisem Anschlagen ist nur der schwebende *5 d* vorhanden. Es gelingt fast nicht, so leise anzuschlagen, dass nicht auch der schwebende *4 d* vorhanden ist. Beim äusserst leisen Anschlagen, um *5 d* ausschliesslich zu bekommen, ist dieser Ton so leise, dass er nicht leicht als schwebend zu erkennen ist. Sobald *4 d* zugleich gehört wird, ist er auch gewöhnlich schon deutlicher und deutlicher schwebend als *5 d*.

Bei mittelstarkem Anschlagen kommt nicht nur der in gleichem Rhythmus *2 Δ* schwebende *2 d* hinzu, sondern dann ist auch schon *3 d* im Rhythmus *3 Δ* schwebend vorhanden. Sobald *3 d* gehört wird, hört man ihn in diesem Rhythmus schweben. D. h. also, dass er nicht den Schwebungsrhythmus des Dreiklangs annimmt, sondern den des Zweiklangs (*6 d* — *Δ*): *9 d* beibehält.

$$\begin{array}{l} 6\,d - \varDelta \\ 7\,d \\ 9\,d \end{array} \quad \varDelta = \frac{8}{10}; \; z = \frac{16}{10} = 2\,\varDelta;$$

$$\varDelta \text{ bestimmt aus } \begin{array}{l} 4\,d \\ 6\,d - \varDelta \end{array} z = \frac{16}{10}, \text{ also } \varDelta = \frac{8}{10}.$$

Auch jetzt sind die Schwebungen auf *4 d* bei nicht allzu leisem Anschlagen deutlicher als auf *5 d*, so dass ich einige Male meinte, *5 d* sei frei von Schwebungen. Jedoch schwebt an der Stelle des Hörfeldes, wo *5 d* am besten gehört wird, auch dieser Ton deutlicher.

Bei diesem Rhythmus sind die Schwebungen auf *5 d* leichter zu erkennen als bei dem vorigen. Wenn die schwebenden Töne *2 d*, *4 d* und *5 d* gehört werden (also bei nicht zu leisem Anschlagen), verschwindet beim Weiterklingen der Gabeln zuerst *2 d*, dann *4 d*, und zuletzt bleibt noch eine Weile *5 d* allein übrig.

Wenn man von den störenden Schwebungen von *3 d* belästigt wird, kann man das Ohr an eine Stelle des Hörfeldes bringen (dadurch, dass man den Kopf den Gabeln nähert oder ihn von denselben entfernt), wo man *3 d* weniger deutlich resp. nicht hört. Man hört dann die übrigen Töne deutlicher.

$$\begin{array}{l} 6\,d \\ 7\,d - \varDelta; \\ 9\,d \end{array} \; \varDelta = \frac{10}{10}; \; z = \frac{30}{10} = 3\,\varDelta;$$

$$\varDelta \text{ bestimmt aus } \begin{array}{l} 5\,d \\ 7\,d - \varDelta; \\ 9\,d \end{array} z = \frac{20}{10}, \text{ also } \varDelta = \frac{10}{10}.$$

Bei s e h r l e i s e m A n s c h l a g e n hört man nur den schwebenden *5 d*, besonders wenn *6 d* nicht zu stark angeschlagen wird. Schlägt man etwas weniger leise an, so ist *4 d* der am deutlichsten schwebende Ton. Bei m i t t e l s t a r k e m Anschlagen auch *2 d* schwebend vorhanden. Daneben wird *3 d* frei von Schwebungen gehört.

Die Deutlichkeit und die Deutlichkeit des Schwebens von *5 d* ist sehr abhängig von der zufälligen relativen Stärke der Primärtöne. Bei s t a r k e m Anschlagen hört man auch den Ton *d*, jedoch frei von Schwebungen.

$$\begin{array}{l} 6\,d \\ 7\,d \\ 9\,d - \varDelta; \end{array} \quad \varDelta = \frac{17}{10}; \; z = \frac{17}{10} = \varDelta;$$

$$\varDelta \text{ bestimmt aus } \begin{array}{l} 6\,d \\ 9\,d - \varDelta \end{array}; \; z = \frac{34}{10}, \text{ also } \varDelta = \frac{17}{10}.$$

Bei sehr leisem Anschlagen (mit dem Fingernagel) ist schon $5\,d$ sehr deutlich im Rhythmus $\varDelta$ schwebend vorhanden. Bei etwas weniger leisem Anschlagen kommt $4\,d$ im gleichen Rhythmus $\varDelta$ schwebend hinzu; wenn man etwas stärker anschlägt, ist er stärker als $5\,d$. Dieser letzte Ton ist besonders stark, wenn $7\,d$ etwas lauter angeschlagen wird als die anderen zwei Gabeln.

Wird noch etwas stärker angeschlagen, so hört man zugleich die erwähnten $\varDelta$-Schwebungen auf $4\,d$ und die $2\,\varDelta$-Schwebungen auf $3\,d$. Diese letzteren treten selbstverständlich noch deutlicher in den Vordergrund, wenn $6\,d$ und $9\,d - \varDelta$ stärker angeschlagen werden als $7\,d$. Klingen $6\,d$ und $9\,d - \varDelta$, so dass man die $2\,\varDelta$-Schwebungen auf $3\,d$ hört, so kann man diese durch einen fixen Schlag auf die Gabel $7\,d$ gänzlich verschwinden und für die $\varDelta$-Schwebungen auf $5\,d$ und $4\,d$ den Platz räumen lassen: die Schwebungen $2\,\varDelta$ auf $3\,d$, obgleich bei dem Zweiklang deutlich vorhanden, sind durch das Anschlagen der dritten Gabel auf einmal verschwunden. Sie können also in dem Dreiklang gänzlich fehlen, während doch die Töne des Zweiklanges, die die verdeckten Schwebungen sonst verursachen, stark genug klingen, um sie hervorzubringen.

Dies ist auch durch folgenden Versuch festzustellen: Man schlägt die drei Gabeln so an, dass man nur die Dreiklangschwebungen auf $4\,d$ und $5\,d$ hört (am leichtesten dadurch, dass $7\,d$ etwas stärker angeschlagen wird als $6\,d$ und $9\,d - \varDelta$: man hört dann die $2\,\varDelta$-Schwebungen auf $3\,d$ nicht); löscht man dann $7\,d$ plötzlich aus, so vernimmt man sogleich die Quintenschwebungen $2\,\varDelta$ auf $3\,d$ deutlich; die Gabeln klangen also im Dreiklang stark genug, um sie zu erzeugen; dennoch hörte man sie nicht.

Zur Vervollständigung der Reihe der Dreiklänge nach unten wurden noch folgende untersucht:

XXIX.

$1:2:3;\ d = 300.$

$$\begin{matrix} d - \varDelta \\ 2\,d \\ 3\,d \end{matrix} \quad \varDelta = \frac{20}{10};\ z = \frac{20}{10} = \varDelta;$$

$$\varDelta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} d - \varDelta \\ 2\,d \end{matrix} \quad z = \frac{40}{10},\ \text{also } \varDelta = \frac{20}{10}.$$

Die Schwebungen haften bei gleich starkem Anschlagen der Gabeln hauptsächlich an dem Tone d; doch hört man auch be-

sonders den höchsten Primärton $3d$ in demselben Rhythmus schwanken. Dabei wechseln die Stärkemaxima von d und $3d$ mit einander ab. Erzeugt man zuerst die Octavenschwebungen $2\varDelta$ von $d-\varDelta$ und $2d$ (den Tönen $300-\varDelta$ und 600), und schlägt man dann $3d$ (900) an, so verwandelt sich sofort der Rhythmus $2\varDelta$ in $\varDelta$. Ebenso kann man die $3\varDelta$-Schwebungen von $(d-\varDelta)$: $3d$ durch Anschlagen von $2d$ in die $\varDelta$-Schwebungen des Dreiklangs umschlagen lassen.

Durch verschiedenes ungleich starkes Anschlagen bekommt man Combinationen dieser drei verschiedenen Schwebungsarten.

Durch leises Anschlagen von $d-\varDelta$ gegenüber $2d$ und $3d$ kann man die Schwebungen schärfer und schärfer auf d localisirt erhalten.

$$\begin{matrix} d \\ 2d-\varDelta \\ 3d \end{matrix}; \quad \varDelta = \frac{14}{10}; \quad z = \frac{28}{10} = 2\varDelta;$$

$$\varDelta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 2d - \varDelta \\ 3d \end{matrix} \quad z = \frac{42}{10}, \text{ also } \varDelta = \frac{14}{10}.$$

Bei **gleich starkem** Anschlagen kommt zuerst gewöhnlich der Rhythmus $\varDelta$ vom Zweiklang $d:(2d-\varDelta)$ heraus, obgleich schon zu erkennen ist, dass sich ein Rhythmus $2\varDelta$ eingemischt hat. Man muss allerdings sagen, dass bei diesem gleich starken Anschlagen die tiefste Gabel d (300) viel stärker tönt als $2d-\varDelta$ und $3d$. Der Rhythmus $2\varDelta$ auf dem Tone d ist jedoch scharf herauszubekommen, wenn man die Gabel d leiser anschlägt als $2d$ und $3d$. Man kann hier also die dem Dreiklang eigenen Schwebungen nicht unterscheiden von den $2\varDelta$-Schwebungen des tiefsten Primärtones mit dem Differenztone $2\times(2d-\varDelta) - 3d = d - 2\varDelta$. Ebenso könnte man bemerken, dass die erwähnten $\varDelta$-Octavenschwebungen auch berechnet werden können als Schwebungen des tiefsten Primärtones d mit dem Differenztone $3d-(2d-\varDelta) = d+\varDelta$; wir haben jedoch gesehen, dass, wenn sie gehört wurden, gerade d zu stark tönte. Daher betrachtet man sie besser als Octavenschwebungen von d mit $(2d-\varDelta)$.

In dem erwähnten Rhythmus $2\varDelta$ ist oft der Rhythmus $\varDelta$ noch zu erkennen aus der ungleichen Stärke je zweier auf einander folgender Stösse und den ungleichen zeitlichen Abständen derselben von einander.

Als dem Dreiklang eigen kann jedenfalls nur der Rhythmus $2\varDelta$ betrachtet werden, da dieser nicht von einem der Zweiklänge als solchem abhängig sein kann. Der Zweiklang $d:(2d-\varDelta)$ ergibt

den Rhythmus $\varDelta$, der Zweiklang $(2d-\varDelta):3d$ den Rhythmus $3\varDelta$. Auch haben die Schwankungen des höchsten Primärtones $3d$, wenn man sie hört, gewöhnlich den Rhythmus $2\varDelta$.

$$\begin{matrix} d \\ 2d \\ 3d-\varDelta \end{matrix} \quad \varDelta = \frac{24}{10},\ s = \frac{24}{10} = \varDelta;\ \varDelta \text{ bestimmt aus}$$

$$\begin{matrix} 2d \\ 3d-\varDelta \end{matrix} \quad s = \frac{48}{10},\ \text{also } \varDelta = \frac{24}{10}.$$

Bei gleich starkem Anschlagen der Gabeln hört man sofort die deutlichen Schwebungen im Rhythmus $\varDelta$ auf d und $3d$, besonders auf d localisirt.

Bewegt man den Kopf nach den Gabeln zu und wieder von denselben ab, so kommt man in Stellen von Stärkemaxima und Minima für den Ton $3d$. Da an den Stellen der Maxima die Schwankungen dieses Primärtones sich mehr aufdrängen, hört man bei dem genannten Hin- und Herbewegen des Kopfes die Schwebungen abwechselnd auf d und auf $3d$. Die Quintenschwebungen von $2d$ und $3d-\varDelta$ sind so viel schwächer als die des Dreiklangs, dass sie dessen Rhythmus nicht stören. Durch leiseres Anschlagen von d sind ganz scharfe und scharf auf d localisirte Schwebungen im Rhythmus $\varDelta$ zu erhalten. Man hört dann gewöhnlich daneben die Quintenschwebungen im Rhythmus $2\varDelta$.

XXX.

$2:3:4;\ d = 256.$

$$\begin{matrix} 2d-\varDelta \\ 3d \\ 4d \end{matrix}, \quad \varDelta = \frac{19}{10},\ s = \frac{19}{10} = \varDelta;$$

$$\varDelta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 2d-\varDelta \\ 3d \end{matrix} \quad s = \frac{57}{10},\ \text{also } \varDelta = \frac{19}{10}.$$

Die Schwebungen des Dreiklangs sind nicht sehr deutlich und weniger deutlich als die Quintenschwebungen von $(2d-\varDelta):3d$ und die Octavenschwebungen von $(2d-\varDelta):4d$.

Die $\varDelta$-Dreiklangschwebungen haften dem Tone d (256) an. Dabei schwanken oft der höchste um die anderen Primärtöne im gleichen Rhythmus. Es kommt auch vor, dass dem Tone d der Rhythmus $\varDelta$, dem Primärtone $4d$ der Rhythmus $2\varDelta$ (der Octavenschwebungen) anhaftet. Oft hört man den Rhythmus $\varDelta$ mit einem der anderen Rhythmi combinirt, z. B. so, dass jedem Stoss ein stärkerer oder schwächerer Nebenstoss folgt. Auch kommt es vor, dass in jeder

der Δ-Schwebungen einmal der Ton d und einmal $2\,d$ auftritt, so dass man diese beiden sich abwechseln hört.

Sowohl für das Hören der Schwebungen als von bestimmten Primärtönen kam es sehr darauf an, an welcher Stelle des Hörfeldes ich das Ohr hielt.

Streicht man $2\,d - \Delta$ viel leiser an als $3\,d$ und $4\,d$ und diese auch nicht stark, so hört man Δ-Schwebungen des Tones $2\,d$.

$$\begin{matrix} 2\,d \\ 3\,d-\Delta \\ 4\,d \end{matrix};\quad \Delta = \frac{23}{10},\quad z = \frac{46}{10} = 2\,\Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 2\,d \\ 3\,d-\Delta \end{matrix}\quad z = \frac{46}{10},\ \text{also } \Delta = \frac{23}{10}.$$

Die Anzahl der Dreiklangschwebungen ist gleich derjenigen der Quintenschwebungen. Streicht man nun zuerst die Gabeln $2\,d$ und $3\,d - \Delta$ der Quinte an, und dann dazu $4\,d$, so hört man, wie die deutlich dem Tone d anhaftenden Quintenschwebungen etwas undeutlicher werden; sie bleiben jedoch, und es kommen Schwebungen im gleichen Rhythmus $2\,\Delta$ auf dem Tone $2\,d$ hinzu. Streicht man jetzt nochmals $3\,d - \Delta$ und $4\,d$ (so dass also $2\,d$ leiser tönt als diese beiden), so hört man bei richtig getroffenem Intensitätsverhältniss (besonders deutlich, wenn $3\,d - \Delta$ noch etwas lauter als $4\,d$) die scharfen ausschliesslich $2\,d$ anhaftenden Schwebungen im gleichen Rhythmus $2\,\Delta$, d. h. wieder die Schwebungen des tiefsten Primärtones mit dem zweiten Differenztone der zwei anderen Gabeln.

$$\begin{matrix} 2\,d \\ 3\,d \\ 4\,d-\Delta \end{matrix}\quad \Delta = \frac{23}{10};\quad z = \frac{23}{10} = \Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 2\,d \\ 4\,d-\Delta \end{matrix}\quad z = \frac{23}{10},\ \text{also } \Delta = \frac{23}{10}.$$

Die Δ-Schwebungen des Dreiklanges haften dem Tone d an und sind stark und deutlich, auch z. B. im Vergleich mit den Octavenschwebungen von $2\,d : (4\,d - \Delta)$.

Je leiser man $2\,d$ im Vergleich mit $3\,d$ und $4\,d - \Delta$ anschlägt, desto mehr treten die Δ-Schwebungen des Tones $2\,d$ in den Vordergrund, bis sie bei richtigem Intensitätsverhältniss ausschliesslich da sind (das sind also die Schwebungen von $2\,d$ mit $2 \times 3\,d - [4\,d - \Delta] = 2\,d + \Delta$).

Streicht man $3\,d$ und $4\,d - \Delta$ stark genug an, um die $3\,\Delta$-Quartenschwebungen zu hören, und dann dazu $2\,d$ stark, so verschwinden die $3\,\Delta$-Schwebungen, um Platz zu machen für die

Δ-Dreiklangschwebungen. Streicht man jedoch $2\,d$ leiser an, so hört man in diesem Fall zugleich Δ-Schwebungen auf $2\,d$ und $3\,\Delta$ auf d.

XXXI.

$$3:4:5; \quad d = 256.$$

$$\begin{matrix} 3\,d - \Delta \\ 4\,d \\ 5\,d \end{matrix} \qquad \Delta = \frac{23}{10}, \quad z = \frac{23}{10} = \Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 2\,d \\ 3\,d - \Delta \end{matrix} \quad z = \frac{46}{10}, \text{ also } \Delta = \frac{23}{10}.$$

Bei gleichstarkem Anschlagen haften die Δ-Schwebungen in der ersten Periode nach dem Anstreichen deutlich dem Combinationstone d an. Dann kommt öfters eine kleine Periode, während d im Verschwinden begriffen ist, worin man $2\,d$ im gleichen Rhythmus hört; beim weiteren Ausklingen der Gabeln hört man nur noch $3\,d$, den tiefsten Primärton, ebenfalls im Rhythmus Δ, schweben. Auch hört man schon (und ausschliesslich) diese Schwebungen, wenn man diese 3 Gabeln äusserst leise mit dem Fingernagel schlägt, wenn nur nicht die tiefste am wenigsten leise geschlagen wird. Diese Schwebungen auf $3\,d$ werden noch desto schärfer, wenn man das Intensitätsverhältniss besonders darnach regelt (d. h. $3\,d - \Delta$ leiser als die anderen zwei).

Die Δ-Schwebungen auf dem Tone $2\,d$, die bei gleichstarkem Anschlagen undeutlich sind, werden deutlicher, wenn man die höchste Gabel leiser anstreicht als die zwei tieferen, und von diesen beiden die tiefste wieder etwas stärker als die andere. Man könnte bemerken, dass diese Bedingungen auch am günstigsten sind für das Entstehen der Zweiklangcombinationstöne

$$2\,d - 2\,\Delta = 2 \times (3\,d - \Delta) - 4\,d \text{ und}$$
$$2\,d = 3 \times 4\,d - 2 \times 5\,d.$$

Es sei dazu schon jetzt beiläufig bemerkt, dass nach dieser Berechnung $2\,\Delta$-Schwebungen auf $2\,d$ gehört werden müssten, während die Anzahl in der That gleich Δ ist. Obgleich wir dergleichen Betrachtungen noch ruhen lassen wollen, möchten wir doch jetzt noch hinzufügen, dass auch die Berechnung aus

$$2\,d + \Delta = 5\,d - (3\,d - \Delta) \text{ und}$$
$$2\,d - 2\,\Delta = 2 \times (3\,d - \Delta) - 4\,d$$

nicht mit den Thatsachen stimmt, da nach dieser Berechnung $2\,d$ im Rhythmus $3\,\Delta$ schweben müsste. — Der Ton $2\,d$ hat eben, wenn

er im Dreiklang $(3d - \Delta) : 4d : 5d$ schwebt, den diesem Dreiklang eigenen Schwebungsrhythmus. Es würde nur die Berechnung aus

$$2d = 3 \times 4d - 2 \times 5d \text{ und } 2d + \Delta = 5d - (3d - \Delta)$$

der wirklich gehörten Anzahl entsprechen.

$$\begin{matrix} 3d \\ 4d - \Delta \\ 5d \end{matrix}; \quad \Delta = \frac{15}{10}, \; s = \frac{30}{10} = 2\Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 2d \\ 4d - \Delta \end{matrix} \; s = \frac{15}{10}, \text{ also } \Delta = \frac{15}{10}.$$

Bei gleichstarkem Anstreichen zuerst 2Δ-Schwebungen auf d und $2d$. Dann, weil diese bald nicht mehr hörbar, derselbe Rhythmus auf $3d$. Diese 2Δ-Schwebungen auf $3d$ halten so lange an, als die Primärtöne noch alle drei klingen; sie werden durch leiseres Anschlagen von $3d$ noch verschärft.

$$\begin{matrix} 3d \\ 4d \\ 5d - \Delta \end{matrix} \quad \Delta = \frac{18}{10}, \; s = \frac{18}{10} = \Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 4d \\ 5d - \Delta, \\ 6d \end{matrix} \; s = \frac{36}{10}, \text{ also } \Delta = \frac{18}{10}.$$

Die Localisation der Schwebungen ist die gleiche wie bei den vorigen beiden Versuchen.

Es wurde noch bemerkt, dass die Stärkemaxima von d und $2d$ nicht genau zusammenfallen, dasjenige von $2d$ kommt um ein kleines Zeitintervall demjenigen von d nach. Es ist dies leicht zu bemerken, wenn man die Schwebungen ziemlich langsam nimmt.

XXXII.

2 : 4 : 5; $d = 256$.

$$\begin{matrix} 2d - \Delta \\ 4d \\ 5d \end{matrix} \quad \Delta = \frac{24}{10}, \; s = \frac{12}{5} = \Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 2d - \Delta \\ 4d \end{matrix} \; s = \frac{48}{10}, \text{ also } \Delta = \frac{24}{10}.$$

Bei gleichstarkem Anstreichen Δ-Schwebungen auf d; besonders deutlich zu hören, dass sie d anhaften, wenn man, die Octavenschwebungen auf $2d$ von $(2d - \Delta) : 4d$ hörend, $5d$ dazu anstreicht. Nach einigem Probiren gelingt es, durch sehr leises Anschlagen von $2d - \Delta$ und stärkeres von $4d$ und $5d$, $2d$ im Rhythmus Δ deutlich

und ausschliesslich schweben zu lassen (als ob Schwebungen von $2\,d - \Delta$ und $2\,d = 3 \times 4\,d - 2 \times 5\,d$).

$$\begin{matrix} 2\,d \\ 4\,d - \Delta \\ 5\,d \end{matrix};\quad \Delta = \frac{10}{10},\quad s = \frac{30}{10} = 3\,\Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 2\,d \\ 4\,d - \Delta \end{matrix}\; s = \frac{10}{10},\ \text{also } \Delta = \frac{10}{10}.$$

Bei gleich starkem Anstreichen kommt der Rhythmus $3\,\Delta$ **nur** unrein heraus: Entweder hört man 10 Complexe von Stössen, davon jedes Complex aus einem grösseren Stosse mit zwei kleineren besteht, oder aber aus zwei Stössen, wobei der dritte weggefallen ist (zwei Stössen und einem unausgefüllten Zeitraum), so dass dennoch fast immer der Rhythmus $3\,\Delta$ constatirt werden muss.

Rein (regelmässig) kommt der Rhythmus $3\,\Delta$ auf dem Tone $2\,d$ heraus, wenn dieser sehr leise angeschlagen ist, so dass die Schwebungen ihm ausschliesslich anhaften.

$$\begin{matrix} 2\,d \\ 4\,d \\ 5\,d - \Delta \end{matrix}\quad \Delta = \frac{15}{10},\quad s = \frac{30}{10} = 2\,\Delta;$$

$$\Delta \text{ bestimmt aus } \begin{matrix} 4\,d \\ 5\,d - \Delta \\ 6\,d \end{matrix};\quad s = \frac{30}{10},\ \text{also } \Delta = \frac{15}{10}.$$

Ganz regelmässiger Rhythmus $2\,\Delta$ auf dem Tone d. Es gelingt wieder durch leises Anschlagen von $2\,d$ und weniger leises von $4\,d$ und $5\,d - \Delta$, ausschliesslich $2\,\Delta$-Schwebungen auf $2\,d$ zu erhalten.

Es sei der Unterschied betont, der bei diesem Dreiklang obwaltet in Bezug auf die Verstimmung der verschiedenen Gabeln. Wird die mittlere verstimmt, so kommt bei gleich starkem Anschlagen nur ein unreiner, unscharf localisirter Rhythmus heraus, während bei Verstimmung der höchsten Gabel ein ganz regelmässiger, leicht zu hörender und deutlich localisirter Rhythmus auftritt.

XXXIII.

Regel für die Anzahl der Dreiklangschwebungen.

Würde die Regel so sein, wie ich in Cap. XIV vermuthete, so müssten die Zahlen der Columne XVIII der Uebersichtstabelle übereinstimmen mit den Factoren von Δ in der Columne III, wo die Anzahl der für jeden Dreiklang am meisten charakteristischen Schwebungen zu finden ist. Dies ist in der That der Fall, wo die drei Differenzen der ein-

fachsten Verhältnisszahlen keinen gemeinschaftlichen Factor besitzen und also selbst einfachste Verhältnisszahlen darstellen. Wo dies nicht der Fall ist, d. h. wo sie einen gemeinschaftlichen Factor haben, wie bei dem Dreiklang 5 : 7 : 9 die Differenzen 2, 4, 2, da trifft die Regel nicht zu. In diesen Fällen stimmen die Zahlen der Columne III nicht mit denen der Columne XVIII überein, sondern mit denen von XIX, welche die einfachsten Verhältnisszahlen der Differenzen enthält.

Es gilt also für die von mir untersuchten Dreiklänge folgende Regel:

Wenn man von drei Tönen, deren Schwingungszahlen zu einander in einem einfachen Verhältnisse stehen, einen beliebigen um ein Geringes erhöht oder vertieft, so bilden sie bei gleichzeitigem Ertönen Schwebungen, deren Anzahl sich so bestimmen lässt, dass man von je zwei der (unverstimmten) Schwingungszahlen die Differenz und von diesen drei Differenzen die einfachsten Verhältnisszahlen bildet, und die Anzahl der Schwingungen, um welche der falsche Ton verstimmt worden, multiplicirt mit der Verhältnisszahl derjenigen Differenz, die den beiden reinen Tönen angehört.

XXXIV.

Das Reinstimmen der Gabeln kann man mit Hülfsgabeln bewerkstelligen, insoweit solche vorhanden sind. Am schnellsten und mit hinreichender Genauigkeit (wenn man geübt ist) stimmt man die Gabeln direct nach einander. Man stellt z. B. zuerst zwei reine Quinten $4d:6d$ und $6d:9d$ her; dies kann man sehr genau machen. Man lenkt seine Aufmerksamkeit ganz fest auf den Combinationston und hört zu, ob er gänzlich stätig ist; ist die Stimmung noch nicht ganz rein, so hört man, vielleicht nach 10 oder 20 Secunden, denselben verschwinden und nach einem kleinen Zeitabschnitt wieder auftauchen. Dies ist ein sicheres Zeichen, dass der Combinationston noch schwebt, und nimmt man dieses Zeichen wahr, so kann der Zweiklang noch reiner gestimmt werden. Je mehr man geübt ist, seine Aufmerksamkeit scharf auf den schwebenden Ton festzusetzen, desto leichter ist es, eine ganz reine Stimmung herzustellen. Man kann dann $5d$ durch die Schwebungen des Dreiklanges $4d:5d:6d$ und ausserdem durch die Zweiklangschwebungen von $4d:5d$

und $5d:6d$ stimmen. Die Schwebungen des Dreiklanges geben den Vortheil, dass sie leicht hörbar sind, die der Zweiklänge, dass sie bei einer gewissen Verstimmung der Gabel frequenter sind. Man stimmt dann $7d$ durch Vermittlung des Dreiklanges $5d:7d:9d$, wobei die Anzahl der Schwebungen zwei Mal, des Dreiklanges $5d:6d:7d$, wobei sie ein Mal, und des Zweiklanges $6d:7d$, wo sie sechs Mal die Verstimmung von $7d$ beträgt. Auf diese Weise kann man weiter gehen. Man muss die Fürsorge treffen, die ersten Gabeln, die man nimmt, durch Aufklebung von Wachs um ein Geringes herabzustimmen, damit man nicht in die Nothwendigkeit geräth, vielleicht irgend eine Gabel heraufstimmen zu müssen. Dies hat ausserdem den Vortheil, dass man bei den Versuchen die Gabeln auch ein Mal nach der Höhe hin verstimmen kann.

Hat man irgend eine Gabel durch Aufkleben oder Abnehmen von Wachs verstimmt, so kann man den Betrag Δ der Verstimmung auf ähnliche Weise nach verschiedenen Dreiklängen und Zweiklängen dadurch bestimmen und controliren, dass man die Anzahl der Schwebungen genau zählt und nach den schon bekannten Verhältnissen die Verstimmung daraus berechnet. Die Dreiklänge sind in meinen Versuchen dazu nur insofern gebraucht worden, als für sie selbst schon die Beziehung zwischen ihren einfachsten Verhältnisszahlen, dem Betrag der Verstimmung und der Anzahl der Schwebungen festgestellt worden war.

XXXV.

Für die Anzahl der Schwebungen eines Zweiklangs, davon ein Ton verstimmt ist, gibt Sir William Thomson folgende Regel:

„The frequency of the beat is equal to the error of frequency of one note multiplied by the harmonic number of the other.“

Und für einen Zweiklang, davon beide Töne als geringe Abweichungen von zwei reinen Tönen betrachtet werden:

„Let n and n' be the harmonic numbers of the perfect harmony to which two given notes approximate, and let e and e' be the excesses of the vibrational frequencies of the two actual notes above two in perfect harmony nearly agreeing with them. The frequency of the beat of the actual notes is $n'e - ne'$.“

Weil man aber im letzten Falle von den zwei verstimmten Tönen immer den einen als rein und den anderen als verstimmt betrachten kann, so kann man die zweite Regel direct aus der ersten

ableiten. Sind n. l. $nd - \Delta$ und $n'd - \Delta'$ die gegebenen Töne, während nd und $n'd$ im Verhältniss $n:n'$ reingestimmte Töne sind, und betrachtet man $n'd - \Delta'$ als rein, dann würde der Ton im Verhältniss $n:n'$ zu diesem reingestimmt $nd - \frac{n}{n'} \cdot \Delta'$ sein. Die Verstimmung des Tones $nd - \Delta$ ist also

$$nd - \frac{n}{n'} \cdot \Delta' - (nd - \Delta) = \Delta - \frac{n}{n'} \cdot \Delta'.$$

Nach der ersten Thomson'schen Regel ist also die Anzahl der Schwebungen

$$n' \cdot (\Delta - \frac{n}{n'} \Delta') = n' \Delta - n \Delta'$$

was mit der zweiten Regel übereinstimmt.

Die Regel ist von Ohm schon 1839 in etwas anderer Form gegeben worden[1]). Er sagt, dass zwei Töne m und n, die sich in ihrem Verhältniss sehr $m':n'$ nähern, während die Zahlen m' und n' sehr klein sind im Vergleich zu jenen, auf die man stösst, wenn man das Verhältniss $m:n$ in seinen kleinsten Zahlen ausdrückt, $mn' - m'n$ Stösse in der Zeiteinheit hervorbringen.

Dass es dieselbe Regel als die zweite Thomson'sche ist, sieht man, wenn man für m und n (die verstimmten Töne)

$$m'd - \Delta \text{ und } n'd - \Delta'$$

einsetzt. Man bekommt dann für die Anzahl der Schwebungen

$$n' \cdot (m'\mathrm{d} - \Delta) - m' \cdot (n'\mathrm{d} - \Delta') = m' \Delta' - n' \Delta,$$

was dem Ausdruck der zweiten Thomson'schen Regel entspricht.

XXXVI.

Ich habe von verschiedenen Dreiklängen die zusammenstellenden Zweiklänge flüchtig auf die hörbaren Combinationstöne untersucht, um später zu sehen, inwieweit aus diesen die Schwebungen erklärt werden könnten. Denn Mancher wird sie auf eine solche Weise zu erklären suchen. Mit Rücksicht auf die nachstehenden Ausführungen[2]), woraus überzeugend hervorgeht, dass die Schwebungen dem Wechsel der ganzen Bewegungsform unter Einfluss der periodischen Veränderung der Phasenbeziehung der drei Töne zuzuschreiben sind, genügt es, den genannten Erklärungsversuch nur für den ersten der analysirten Dreiklänge $5d:6d:7d$ zu machen.

---

1) Poggendorff's Annalen Bd. 47 S. 465. 1839.

2) Siehe dritten Abschnitt.

Nehmen wir nur die wirklich und sicher gehörten Combinationstöne, welche ich hier zusammenstelle:

Zweiklänge	$5d : 6d$	$5d : 7d$	$6d : 7d$
Combinationstöne	—	—	$5d$
	$4d$	—	$4d$
	$3d$	$3d$	$3d$
	—	$2d$	—
	d	d	d

Ist $5d$ verstimmt, so würden sich nach Berechnung diese Combinationstöne in dieser Weise verändern:

Zweiklänge	$(5d-\Delta) : 6d$	$(5d-\Delta) : 7d$	$6d : 7d$
Combinationstöne	—	—	$5d$
	$4d-2\Delta=2(5d-\Delta)-6d$	—	$4d$
	$3d-3\Delta=3(5d-\Delta)-2{,}6d$	$3d-2\Delta=2(5d-\Delta)-7d$	$3d$
	—	$2d+\Delta=7d-(5d-\Delta)$	—
	$d+\Delta=6d-(5d-\Delta)$	$d-3\Delta=3(5d-\Delta)-2{,}7d$	d

Bei Verstimmung von $6d$:

Zweiklänge	$5d : (6d-\Delta)$	$5d : 7d$	$(6d-\Delta) : 7d$
Combinationstöne	—	—	$5d-2\Delta=2(6d-\Delta)-7d$
	$4d+\Delta=2{,}5d-(6d-\Delta)$	—	$4d-3\Delta=3(6d-\Delta)-2{,}7d$
	$3d+2\Delta=3{,}5d-2(6d-\Delta)$	$3d$	$3d-4\Delta=4(6d-\Delta)-3{,}7d$
	—	$2d$	—
	$d-\Delta=(6d-\Delta)-5d$	d	$d+\Delta=7d-(6d-\Delta)$

Bei Verstimmung von $7d$:

Zweiklänge	$5d : 6d$	$5d : (7d-\Delta)$	$6d : (7d-\Delta)$
Combinationstöne	—	—	$5d+\Delta=2{,}6d-(7d-\Delta)$
	$4d$	—	$4d+2\Delta=3{,}6d-2(7d-\Delta)$
	$3d$	$3d+\Delta=2{,}5d-(7d-\Delta)$	$3d+3\Delta=4{,}6d-3(7d-\Delta)$
	—	$2d-\Delta=(7d-\Delta)-5d$	—
	d	$d+2\Delta=3{,}5d-2(7d-\Delta)$	$d-\Delta=(7d-\Delta)-6d$

Aus diesen drei Tabellen, wo also nur die bei den einzelnen Zweiklängen deutlich gehörten Combinationstöne zu Hülfe gezogen sind, könnte man schon folgende Schwebungen berechnen:

Bei Verstimmung von $5d$:		Bei Verstimmung von $6d$:		Bei Verstimmung von $7d$:	
Δ	Schweb. a. d. Tone $5d$	2Δ	Schweb. a. d. Tone $5d$	Δ	Schweb. a. d. Tone $5d$
2Δ	„ „ „ „ $4d$	4Δ	„ „ „ „ $4d$	2Δ	„ „ „ „ $4d$
Δ 2Δ 3Δ	„ „ „ „ $3d$	2Δ 4Δ 6Δ	„ „ „ „ $3d$	Δ 2Δ 3Δ	„ „ „ „ $3d$
Δ 3Δ 4Δ	„ „ „ „ d	Δ 2Δ	„ „ „ „ d	Δ 2Δ 3Δ	„ „ „ „ d

Man sieht, dass man auf diese Weise für einen bestimmten Dreiklang mehrere verschiedene Schwebungsarten herausbekommt, und dass für die verschiedenen Combinationstöne Schwebungen von sehr verschiedener Frequenz gefunden werden. Thatsächlich aber hat die Untersuchung der Dreiklänge (Cap. XIX) gelehrt, dass bei jedem Dreiklang nur ein bestimmter Schwebungsrhythmus besteht, und dass alle Combinationstöne des Dreiklangs, die man überhaupt hört, in diesem Rhythmus schweben. Obige Berechnung stimmt, was die Anzahl der Schwebungen betrifft, jedes Mal für den Ton $5d$ (Schwebungen des Combinationstones $5d$ mit dem Primärtone $5d$). Die Schwebungen auf diesem Tone sind jedoch beim Experimente im Falle des gleich starken Anschlagens der drei Töne gar nicht gehört; nur traten sie zum Vorschein, wenn der Ton $5d$ leise angeschlagen wurde im Vergleich mit $6d$ und $7d$. — Man bekäme noch mehr Schwebungsarten, wenn man noch andere theoretische Töne hinzufügte, z. B. die für die Erklärung der Zweiklangsschwebungen herangezogenen Töne: $d - 5\Delta = 5 \cdot (5d - \Delta) - 4 \cdot 6d$, $d - 6\Delta = 6 \cdot (6d - \Delta) - 5 \cdot 7d$ u. s. w. Uebrigens würden dergleichen Betrachtungen höchstens eine Berechnung, nicht eine Erklärung der Schwebungen enthalten: eine Erklärung hat eben auf die Bewegungsformen zurückzugehen.

Uebersichtstabelle

zu dem zweiten Abschnitt: „Ueber Schwebungen u. s. w.“

Zur Erläuterung: Hinter jedem Dreiklang gibt es drei horizontale Streifen. In dem mittleren davon stehen die Schwebungen, welche bei gleich starkem, leisem Anschlagen gehört wurden; diese stehen in den verticalen Colonnen III und IV. Im unteren der drei horizontalen Streifen stehen die Schwebungen, die bei stärkerem Anschlagen auftraten. Im oberen der drei horizontalen Streifen findet man die Schwebungen, die bei leiserem Anschlagen der tiefsten Gabel zum Vorschein kamen; sie stehen in den verticalen Colonnen V und VI. Ob die anderen Schwebungen in den verticalen Colonnen V und VI oder VII oder VIII stehen, macht keinen principiellen Unterschied; waren sie weniger auffallend, so stellte ich sie in VII und VIII.

Anz. = Anzahl der Schwebungen pro Secunde, bei Verstimmung von Δ-Schwingungen pro Secunde.

Loc. = Localisation = der Ton, welcher schwebt.

Pr.-ton = Primärton = der Ton einer der 3 Gabeln. Siehe übrigens im Text.

d	Töne			Schwebungen auf Combinationstönen				Auffallende Primärtonschwankungen				Störende Zweiklangschwebungen			Töne, deren Maxima abwechseln, neben einander; coincidiren, unter einander		Differenzen der einf. Verhältnisszahlen der unverst. Töne	Einfachste Verhältnisszahlen dieser Differenzen
		Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Loc.	herrührend v. Zweiklang				
	$1d-\Delta$	—	—	1Δ	$1d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
300	$2d$	1Δ	$1d$	—	—	—	—	1Δ	$3d$	—	—	—	—	—	$1d$	$3d$	1	1
	$3d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	$1d$	—	—	2Δ	$1d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
300	$2d-\Delta$	2Δ	$1d$	—	—	—	—	—	—	—	—	1Δ	$1d$	$1d$, $2d-\Delta$	—	—	2	2
	$3d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX

d	Töne	Schwebungen auf Combinationstönen: Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Auffallende Primärton-schwankungen: Anz.	Pr.-ton	Anz.	Pr.-ton	Störende Zweiklang-schwebungen: Anz.	Loc.	herrührend v. Zweiklang	Töne, deren Maxima abwechseln, neben einander; coincidiren, unter einander		Differenzen der einf. Verhältnisszahlen der unverst. Töne	Einfachste Verhältnisszahlen dieser Differenzen
	1 d	—	—	1 Δ	1 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
300	2 d	1 Δ	1 d	—	—	—	—	1 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	3 d — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	2 d — Δ	—	—	1 Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
256	3 d	1 Δ	1 d	—	—	—	—	—	—	—	—	2 Δ	4 d	2 d — Δ, 4 d	—	—	1	1
	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	2 d	—	—	2 Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
256	3 d — Δ	2 Δ	1 d, 2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2
	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	2 d	—	—	1 Δ	2 d	—	Diese zwei Schweb.-Arten, wenn 3 d und 4 d — Δ laut, 2 d leiser					3 Δ	1 d	3 d, 4 d — Δ	—	—		
256	3 d	1 Δ	1 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	4 d — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	3 d — Δ	—	—	1 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
256	4 d	—	—	1 Δ	2 d	deutlicher, wenn 5 d etwas leiser		—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	5 d	1 Δ	1 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	3 d	—	—	2 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
256	4 d — Δ	2 Δ	2 d	2 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2
	5 d	2 Δ	1 d, 2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX

d	Töne	Schwebungen auf Combinationstönen						Auffallende Primärton-schwankungen				Störende Zweiklang-schwebungen			Töne, deren Maxima abwechseln, neben einander; coincidiren, unter einander		Differenzen der einf. Verhältnisszahlen der unverst. Töne	Einfachste Verhältnisszahlen dieser Differenzen
		Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Loc.	herrührend v. Zweiklang				
	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
256	4 d	1 Δ	2 d, 1 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 d	2 d	1	1
	5 d — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	4 d — Δ	—	—	1 Δ	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	5 d	1 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	6 d	—	—	—	—	1 Δ	1 d, 3 d	1 Δ	6 d	—	—	—	—	—	—	—		
	4 d	—	—	2 Δ	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	5 d — Δ	2 Δ	3 d	—	—	—	—	2 Δ	6 d	—	—	—	—	—	—	—	2	2
	6 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	4 d	—	—	1 Δ	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	5 d	1 Δ	3 d, 4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	6 d — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	4 d — Δ	—	—	1 Δ	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
150	5 d	1 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	6 d	—	—	—	—	1 Δ	1 d	besonders, wenn 6 d leiser = / „ „ 5 d leiser =				5 Δ / 3 Δ	d / 2 d	(4 d — Δ) : 5 d / (4 d — Δ) : 6 d	—	—		
	4 d	—	—	2 Δ	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
150	5 d — Δ	2 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2
	6 d	—	—	—	—	2 Δ	1 d, 2 d, 3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX

d	Töne	Schwebungen auf Combinationstönen						Auffallende Primärton-schwankungen				Störende Zweiklang-schwebungen			Töne, deren Maxima abwechseln, neben einander; coincidiren, unter einander		Differenzen der einf. Verhältnisszahlen der unverst. Töne	Einfachste Verhältnisszahlen dieser Differenzen
		Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Loc.	herrührend v. Zweiklang				
	1 d	—	—	1 Δ	1 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
300	2 d	1 Δ	1 d	—	—	—	—	1 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	3 d — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	2 d — Δ	—	—	1 Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
256	3 d	1 Δ	1 d	—	—	—	—	—	—	—	—	2 Δ	4 d	2 d — Δ 4 d	—	—	1	1
	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	2 d	—	—	2 Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
256	3 d — Δ	2 Δ	1 d 2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2
	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	2 d	—	—	1 Δ	2 d	—	Diese zwei Schweb.-Arten, wenn 3 d und 4 d — Δ laut, 2 d leiser					3 Δ	1 d	3 d 4 d — Δ	—	—		
256	3 d	1 Δ	1 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	4 d — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	3 d — Δ	—	—	1 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
256	4 d	—	—	1 Δ	2 d	deutlicher, wenn 5 d etwas leiser		—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	5 d	1 Δ	1 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	3 d	—	—	2 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
256	4 d — Δ	2 Δ	2 d	2 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2
	5 d	2 Δ	1 d 2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX

d	Töne	Schwebungen auf Combinationstönen						Auffallende Primärton-schwankungen				Störende Zweiklang-schwebungen			Töne, deren Maxima abwechseln, neben einander; coincidiren, unter einander		Differenzen der einf. Verhältnisszahlen der unverst. Töne	Einfachste Verhältnisszahlen dieser Differenzen
		Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Loc.	herrührend v. Zweiklang				
256	3 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	4 *d*	1 Δ	2 *d* 1 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 *d*	2 *d*	1	1
	5 *d* — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	4 *d* — Δ	—	—	1 Δ	4 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	5 *d*	1 Δ	3 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	6 *d*	—	—	—	—	1 Δ	1 *d* 3 *d*	1 Δ	6 *d*	—	—	—	—	—	—	—		
100	4 *d*	—	—	2 Δ	4 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	5 *d* — Δ	2 Δ	3 *d*	—	—	—	—	2 Δ	6 *d*	—	—	—	—	—	—	—	2	2
	6 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	4 *d*	—	—	1 Δ	4 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	5 *d*	1 Δ	3 *d* 4 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	6 *d* — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
150	4 *d* — Δ	—	—	1 Δ	4 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	5 *d*	1 Δ	3 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	6 *d*	—	—	—	—	1 Δ	1 *d*	besonders, wenn 6 *d* leiser = „ „ 5 *d* leiser =				5 Δ 3 Δ	*d* 2 *d*	(4 *d* — Δ) : 5 *d* (4 *d* — Δ) : 6 *d*	—	—		
150	4 *d*	—	—	2 Δ	4 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	5 *d* — Δ	2 Δ	3 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2
	6 *d*	—	—	—	—	2 Δ	1 *d* 2 *d* 3 *d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX

d	Töne	Schwebungen auf Combinationstönen						Auffallende Primärtonschwankungen				Störende Zweiklangschwebungen			Töne, deren Maxima abwechseln, neben einander; coincidiren, unter einander		Differenzen der einf. Verhältnisszahlen der unverst. Töne	Einfachste Verhältnisszahlen dieser Differenzen
		Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Loc.	herrührend v. Zweiklang				
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX
150	4 d	—	—	1 . Δ	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	5 d	1 . Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	6 d — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	5 d — Δ	—	—	1 . Δ	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	6 d	1 . Δ	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 d 4 d	3 d		
	7 d	—	—	—	—	1 . Δ	1 d 3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	5 d	—	—	2 . Δ	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2
	6 d — Δ	2 . Δ	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 d 4 d	3 d		
	7 d	—	—	—	—	2 . Δ	1 d 3 d	bes. wenn 6 d nicht zu leise angeschlagen				—	—	—	—	...		
100	5 d	—	—	1 . Δ	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	6 d	1 . Δ	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 d 4 d	3 d		
	7 d — Δ	—	—	—	—	1 . Δ	1 d 3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	5 d — Δ	—	—	1 . Δ	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	1
	7 d	1 . Δ	3 d	—	—	—	—	1 . Δ	9 d	—	—	—	—	—	—	—		
	9 d	—	—	—	—	1 . Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	5 d	—	—	2 . Δ	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	2
	7 d — Δ	2 . Δ	3 d	—	—	—	—	2 . Δ	9 d	2 . Δ	7 d	—	—	—	3 d	9 d 7 d		
	9 d	—	—	—	—	2 . Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	5 d	—	—	1 . Δ	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	1
	7 d	1 . Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	9 d — Δ	—	—	—	—	1 . Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—		

d	Töne	Schwebungen auf Combinationstönen						Auffallende Primärtonschwankungen				Störende Zweiklangschwebungen			Töne, deren Maxima abwechseln, neben einander; coincidiren, unter einander		Differenzen der einf. Verhältnisszahlen der unverst. Töne	Einfachste Verhältnisszahlen dieser Differenzen.
		Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Loc.	herrührend v. Zweiklang				
100	7 d — Δ	—	—	1 Δ	7 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	9 d	1 Δ	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	1
	11 d	—	—	1 Δ	3 d	1 Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	7 d	—	—	2 Δ	7 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	9 d — Δ	2 Δ	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	2
	11 d	—	—	2 Δ	3 d	2 Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	7 d	—	—	1 Δ	7 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	9 d	1 Δ	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	1
	11 d — Δ	—	—	1 Δ	3 d	1 Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	3 d + Δ	—	—	1 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	7 d	1 Δ	1 d	—	—	—	—	1 Δ	3 d, 7 d, 11 d	—	—	—	—	—	—	—	4	1
	11 d			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	3 d	—	—	2 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	7 d — Δ	2 Δ	1 d	—	—	—	—	2 Δ	3 d, 7 d, 11 d	—	—	—	—	—	—	—	8	2
	11 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	3 d	—	—	1 Δ	3 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	7 d	1 Δ	1 d	—	—	—	—	1 Δ	3 d, 7 d, 11 d	—	—	—	—	—	—	—	4	1
	11 d — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX

d	Töne	Schwebungen auf Combinationstönen						Auffallende Primärtonschwankungen				Störende Zweiklangschwebungen			Töne, deren Maxima abwechseln, neben einander; coincidiren, unter einander		Differenzen der einf. Verhältnisszahlen der unverst. Töne	Einfachste Verhältnisszahlen dieser Differenzen
		Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Loc.	herrührend v. Zweiklang				
100	$4d - \Delta$	—	—	Wenn $5d$ leiser		3Δ	$3d$	3Δ	$7d$	—	—	—	—	—	—	—		
	$5d$	2Δ	$3d$	Wenn $7d$ leiser		2Δ	$1d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2
	$7d$	—	—	1Δ	$1d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	$4d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	$5d - \Delta$	3Δ	$3d$	1Δ	$1d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	3
	$7d$	—	—	—	—	2Δ	$1d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	$4d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	$5d$	1Δ	$3d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$3d$	$1d$	1	1
	$7d - \Delta$	—	—	1Δ	$1d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	$6d \pm \Delta$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	$7d$	2Δ	$4d$ $5d$	—	—	—	—	—	—	—	—	3Δ	$3d$	$(6d \pm \Delta):9d$	—	—	2	2
	$9d$	—	—	2Δ	$2d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	$6d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	$7d \pm \Delta$	3Δ	$4d$ $5d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	3
	$9d$	—	—	3Δ	$2d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	$6d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	$7d$	1Δ	$5d$ $4d$	—	—	—	—	—	—	—	—	2Δ	$3d$	$6d:(9d \pm \Delta)$	—	—	1	1
	$9d \pm \Delta$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	$5d - \Delta$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	$7d$	2Δ	$3d$	—	—	—	—	2Δ	$11d$	—	—	—	—	—	$3d$	$11d$	4	2
	$11d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX

d	Töne	Schwebungen auf Combinationstönen						Auffallende Primärton-schwankungen				Störende Zweiklang-schwebungen			Töne, deren Maxima abwechseln, neben einander; coincidiren, unter einander		Differenzen der einf. Verhältnisszahlen der unverst. Töne	Einfachste Verhältnisszahlen dieser Differenzen
		Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Loc.	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Pr.-ton	Anz.	Loc.	herrührend v. Zweiklang				
	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	7 d — Δ	3 Δ	3 d	—	—	—	—	3 Δ	11 d	—	—	—	—	—	3 d	11 d	6	3
	11 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	7 d	1 Δ	3 d	—	—	—	—	1 Δ	11 d	—	—	—	—	—	3 d	11 d	2	1
	11 d — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	2 d — Δ	—	—	1 Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
256	4 d	1 Δ	1 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	2 d	—	—	3 Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
256	4 d — Δ	3 Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	3
	5 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	2 d	—	—	2 Δ	2 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
256	4 d	2 Δ	1 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2
	5 d — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	6 d — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	7 d	4 Δ	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	4
	11 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	6 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	7 d — Δ	5 Δ	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	5
	11 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	6 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
100	7 d	1 Δ	4 d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1
	11 d — Δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX

Dritter Abschnitt.

Verband mit der Phasenfrage.

XXXVII.

Wenn ich jetzt einmal einen Rückblick werfe auf die Schwebungsversuche und sie unter einander vergleiche, so ergibt sich Folgendes:

Die Schwebung besteht jedes Mal hauptsächlich in dem Auftreten und Verschwinden einer Anzahl von Combinationstönen. Bei leisem Anschlagen der Gabeln ist es zwar meistens ein bestimmter derselben, dem die Schwebung am deutlichsten anhaftet, wird aber stärker angeschlagen, so dass mehr Combinationstöne hörbar sind, so sind auch diese an der Schwebung betheiligt, insofern sie wenigstens für den Dreiklang charakteristisch sind und nicht nur einem der Zweiklänge angehören. Ausserdem lässt die Schwebung auch die Primärtöne nicht ganz frei. Während aber die Schwebungen der Combinationstöne sich als scharfe Stösse darthaten, schwebten die Primärtöne unvollständiger, d. h. dass das Minimum der Stärke in jeder Schwebungsperiode nicht Null war, und der Unterschied des Maximum und Minimum ein relativ geringer als bei den Combinationstönen. Der höchste der Primärtöne war gewöhnlich derjenige, der am deutlichsten sich als schwankend zu erkennen gab. — Es ist nicht unmöglich, dass, wenn ich nicht so sehr darauf bedacht gewesen wäre, besonders die Erscheinungen bei leisem Anschlagen der Gabeln zu studiren, im Allgemeinen die tieferen resp. der tiefste Combinationston mehr in den Vordergrund getreten wäre, als es bei den Versuchen thatsächlich der Fall gewesen ist.

Wir sehen also, dass das ganze Wesen der Klangmasse sich innerhalb jeder Schwebungsperiode gänzlich verändert. Man könnte noch fragen: ist es denn kein einfacher Intensitätswechsel, wenn doch die ganze Klangmasse sich an dem Wechsel betheiligt?

Wir wissen nun aber schon, dass erstens die Veränderung der Intensität der Primärtöne im Allgemeinen eine unerhebliche ist im Vergleiche zu der der Combinationstöne, welche besteht in völligem Verschwinden und Wiederauftauchen; aber zweitens habe ich im Laufe der Untersuchung mehrfach darauf aufmerksam gemacht, dass die Veränderungen der einzelnen Töne der Klangmasse mit einander abwechselten in dem Sinne, dass das Minimum des einen Tones (Primär- oder Combinationstones) mit dem Maximum eines anderen

zusammenfiel. D. h. dass in dem einen Punkt der Schwebungsperiode die Klangmasse zusammengestellt ist aus Tönen, davon eine Gruppe stark resp. anwesend ist, und eine andere Gruppe schwach resp. abwesend, während in einem anderen Punkte der Schwebungsperiode die erste Gruppe schwach, die zweite stark ist. Die relative Intensität der zusammenstellenden Töne der Klangmasse wird also innerhalb jeder Schwebungsperiode einer eingreifenden Veränderung unterzogen.

Hört man nun auch wirklich die Schwebung im Ganzen als einen Klangfarbenwechsel? — Ich hätte mir diese Frage vielleicht besser vor der Untersuchung gestellt, weil ich jetzt, nach dieser grossen Uebung, immer den Intensitätswechsel der Einzeltöne wahrnehme. Dennoch fällt es mir nicht schwer, den unzweifelhaften Klangfarbenwechsel zu vernehmen. Man erzeugt dazu am besten sehr langsame Schwebungen, z. B. des Dreiklanges 4 : 5 : 6, und sieht so viel wie möglich von der Analyse ab: Dazu fixirt man am besten seine Aufmerksamkeit auf die so vollständig verschmelzende Masse der Primärtöne, welche sich viel weniger einzeln herausheben lassen als die Combinationstöne. Man hört dann deutlich den Klang in jeder Schwebungsperiode gänzlich seinen Charakter cyklisch verändern. Im einen Theil der Schwebungsperiode hört man z. B. eine schmale Klangmasse aus den verschmolzenen Primärtönen bestehend, während dieser Masse in dem anderen Theil der Periode eine breite Unterlage entgegengebracht wird, wodurch der ganze Klang einen mehr sonoren Charakter annimmt. Es geht nicht an, den Timbrewechsel genauer zu beschreiben; wir würden dann von selbst auf's Neue in die Analyse verfallen.

XXXVIII.

Wir sehen also, dass unter Einfluss der Verstimmung eines der drei Töne ein periodischer Wechsel des Klangcharakters auftritt. Wir stellen uns nun die Frage, ob durch diese Verstimmung in der resultirenden Bewegung, die aus den Bewegungen der drei Töne zusammengestellt ist, eine Periodik entsteht, die für die Erklärung des gefundenen Klangfarbenwechsels resp. des Wechsels der Intensität der einzelnen Töne, herangezogen werden kann. Dafür muss 1. diese Periode dieselbe sein (d. h. die Frequenz des Wechsels die gleiche sein) wie diejenige des durch die Versuche gefundenen Klangfarbenwechsels und 2. muss die Veränderung der Bewegungsform deutlich

genug sein, um von uns mit ruhigem Gewissen zur Erklärung benutzt werden zu können.

Ich habe nun Curven gezeichnet, die die Bewegungsformen in verschiedenen Punkten der Schwebungsperioden vorstellen sollen.

Die Curven I, II, III und IV (Fig. 1 bis 4 Tafel IX und X) stellen die folgenden Bewegungsformen dar:

$$\text{I: } \sin 2\pi \cdot 4d \cdot t + \sin 2\pi \cdot 5d \cdot t + \sin 2\pi \cdot 6d \cdot t.$$
$$\text{II: } \sin 2\pi \cdot 4d \cdot t + \sin 2\pi \cdot (5d \cdot t + 1/8) + \sin 2\pi \cdot 6d \cdot t.$$
$$\text{III: } \sin 2\pi \cdot 4d \cdot t + \sin 2\pi \cdot (5d \cdot t + 2/8) + \sin 2\pi \cdot 6d \cdot t.$$
$$\text{IV: } \sin 2\pi \cdot 4d \cdot t + \sin 2\pi \cdot (5d \cdot t + 3/8) + \sin 2\pi \cdot 6d \cdot t.$$

Hierbei ist $t = 0$ im Punkte a der Curven.

Es ist also in der ersten Curve die Anfangsphase der drei Töne dieselbe n. l. gleich Null. Für die Töne $4d$ und $6d$ bleibt das auch in den anderen Curven so, während die Anfangsphase von $5d$ in den drei Curven von 0 auf $3/8$ wächst. Die dem Tone $5d$ zugehörige Sinuscurve verschiebt sich also in der Zeichnung nach links längs den übrigen zwei. Dies ist leicht zu sehen beim Punkte a, der jedes Mal als Nullpunkt der Zeit zu betrachten ist. Die Abscisse rechts von a stellt positive, die links von a negative Zeittheile vor.

Ich habe nun nicht die Curven gezeichnet, worin der Ton $5d$ die Anfangsphasen $4/8$, $5/8$, $6/8$ und $7/8$ hat. Lenken wir unsere Aufmerksamkeit einen Augenblick auf den Punkt b (den Halbirungspunkt der Gesammtcurven) der Curve IV, so sehen wir, dass, wenn die Verschiebung von $5d$ nach links um $1/8 \cdot 2\pi$ weiter stattfände, in diesem Punkte derselbe Zustand entstanden sein würde, den der Punkt a in der Curve I repräsentirt. Wir würden eine Curve bekommen, die bei Betrachtung von a als Anfangspunkt hiesse

$$\sin 3\pi \cdot 4d \cdot t + \sin 2\pi \cdot (5d \cdot t + 4/8) + \sin 2\pi \cdot 6d \cdot t$$

bei Betrachtung von b als Anfangspunkt, durch

$$\sin 2\pi \cdot 4d \cdot t + \sin 2\pi \cdot 5d \cdot t + \sin 2\pi \cdot 6d \cdot t$$

dargestellt würde. Die fünfte Curve würde also wieder dieselbe sein wie Curve I, die sechste wie Curve II u. s. w. Die Erklärung hierfür gibt folgende Betrachtung: Am Anfang (a) der Curve I haben alle drei Sinusbewegungen die gleiche Phase; es muss also die Sinuscurve des verstimmten Tones sich um eine ganze Schwingung längs der Abscisse verschieben, um den Anfangszustand in a auf's Neue zu erreichen. Nun haben jedoch in der Mitte (b) der Gesammtcurve die beiden Töne $4d$ und $6d$ dieselbe Phase wie in a,

weil sie 2 resp. 3 ganze Schwingungen vollbracht haben. Der Ton *5 d* hat hier $2^1/_2$ Schwingungen ausgeführt, und hat also die Phase $^1/_2$. Hieraus geht hervor, dass wenn sich die Sinuscurve von *5 d* um $^1/_2$ Schwingung längs der Abscisse verschoben hat, im Punkte *b* derselbe Zustand besteht wie beim Anfang in *a*. Die Curve ist also wieder dieselbe, die Bewegung hat dieselbe Form wieder erlangt. Beträgt die Verstimmung von *5 d* Δ-Schwingungen, so verschiebt sich seine Curve $^1/_2$ Schwingung in $\frac{1}{2\Delta}$ Secunde. Also tritt in jeder Secunde 2Δ Mal genau dieselbe Bewegungsform auf, die zu Anfang bestand. Diese Zahl stimmt mit der experimentell gefundenen Zahl der Schwebungen überein[1]). Ist nun der Ton *4 d* (resp. *6 d*) verstimmt, so dass sich dessen Curve längs der Abscisse verschiebt, so können wir keinen Punkt irgendwo in der Gesammtcurve finden, wo die Phasen von *5 d* und *6 d* (resp. *4 d* und *5 d*) wieder dieselben sind wie zu Anfang, während *4 d* (resp. *6 d*) eine andere Phase hätte. Dann kann aber nur dieselbe Curve wieder im Punkte *a* auftreten und muss sich die Curve des verstimmten Tones um eine ganze Schwingung verschieben, um dieses Ereigniss stattfinden zu lassen. Eine Schwingung verschiebt sich die Curve bei einer Verstimmung von Δ-Schwingungen in $\frac{1}{\Delta}$ Secunde; jetzt tritt also die Anfangscurve Δ Mal per Secunde auf. Diese Zahl stimmt wieder überein mit der Anzahl der Schwebungen bei Verstimmung von *4 d* (resp. *6 d*).

XXXIX.

Stellen wir uns jetzt für diesen speciellen Fall die zweite Frage, ob die Bewegungsform durch den Phasenwechsel eine genügend deutliche Veränderung erleidet, um für den Klangfarbenwechsel, d. h. für den Intensitätswechsel der verschiedenen Töne, herangezogen werden zu können? Vergleichen wir dazu die Curven I bis IV mit einander. Wir sehen dann in der That, dass diese Curven einen allmählichen, aber sehr deutlichen Formwechsel aufweisen. Während I sehr ungleichmässig von Form ist und grosse Unterschiede in der Höhe der einzelnen Gipfel zeigt, ist III mehr gleichmässig gestaltet und sind ihre einzelnen Gipfel nicht so verschieden hoch. Die Bewegungsform, durch III vorgestellt, ist offen-

1) Siehe Cap. XVII und XVIII.

bar sehr verschieden von der durch I versinnlichten. Die Curven II und IV stellen die Zwischenstufen zwischen I und III, zwischen III und I vor.

Dass die Curve IV (vom Punkte b aus gesehen) die Ordinaten- und Abscissenumkehrung von II (vom Punkte a ab gerechnet) ist. ist zufällig und nur dadurch bedingt, dass in Curve I alle drei Anfangsphasen gleich Null genommen sind. Denn stellen wir die Bewegung vor durch

$\sin 2\pi\,(4\,d \cdot t + p_1) + \sin 2\pi\,(5\,d \cdot t + p_2) + \sin 2\pi\,(6\,d \cdot t + p_3)$,

wobei $4\,d$, $5\,d$ und $6\,d$ die Schwingungszahlen der drei Töne, p_1, p_2 und p_3 die Anfangsphasen der drei Sinusbewegungen (im Punkt a der Curve I) sind, so können wir die Bewegung im Punkte a der Curve II vorstellen durch

$$\sin 2\pi\,(4\,d \cdot t + p_1) + \sin 2\pi\,(5\,d \cdot t + p_2 + {}^1/_8) + \sin 2\pi\,(6\,d \cdot t + p_3).$$

Die Ordinaten- und Abscissenumkehrung (wobei also t negativ und das Zeichen der Glieder umgekehrt genommen wird) ist dann

$$-\sin 2\pi\,(-4\,d \cdot t + p_1) - \sin 2\pi\,(-5\,d \cdot t + p_2 + {}^1/_8) - \sin 2\pi\,(-6\,d \cdot t + p_3).$$

Hierfür können wir schreiben:

$$\sin 2\pi\,(4\,d \cdot t - p_1) + \sin 2\pi\,(5\,d \cdot t - p_2 + {}^7/_8) + \sin 2\pi\,(6\,d \cdot t - p_3).$$

Die Curve IV wird im Punkte a vorgestellt durch

$$\sin 2\pi\,(4\,d \cdot t + p_1) + \sin 2\pi\,(5\,d \cdot t + p_2 + {}^3/_8) + \sin 2\pi\,(6\,d \cdot t + p_3)$$

und im Punkte b durch

$$\sin 2\pi\,(4\,d \cdot t + p_1) + \sin 2\pi\,(5\,d \cdot t + p_2 + {}^7/_8) + \sin 2\pi\,(6\,d \cdot t + p_3).$$

Man sieht also, dass wenn p_1, p_2 und p_3 gleich Null genommen werden, der Ausdruck für die Curve IV im Punkte b derselbe ist wie der für die Ordinaten- und Abscissenumkehrung der Curve II im Punkt a. Weil dieser ganz specielle Fall praktisch nicht vorkommen wird, so wird auch im Allgemeinen nie die Curve IV die Ordinaten- und Abscissenumkehrung von II sein. Wäre $p_1 = {}^3/_{16}$, $p_2 = {}^5/_{16}$, $p_3 = {}^9/_{16}$, so würden die Phasen der einzelnen Sinuscurven in den Punkten a und b der acht Curven, die bei Verschiebung der mittleren Note längs der Abscisse um eine ganze Schwingung auftreten, folgende sein (Tabelle B).

Die Tabelle A stellt die Phasen dar für $p_1 = p_2 = p_3 = 0$.

A.

	a			*b*			$t =$
I	0	0	0	0	$^4/_8$	0	0
II	0	$^1/_8$	0	0	$^5/_8$	0	$^1/_8\,\Delta$
III	0	$^2/_8$	0	0	$^6/_8$	0	$^2/_8\,\Delta$
IV	0	$^3/_8$	0	0	$^7/_8$	0	$^3/_8\,\Delta$
I_1	0	$^4/_8$	0	0	0	0	$^4/_8\,\Delta$
II_1	0	$^5/_8$	0	0	$^1/_8$	0	$^5/_8\,\Delta$
III_1	0	$^6/_8$	0	0	$^2/_8$	0	$^6/_8\,\Delta$
IV_1	0	$^7/_8$	0	0	$^3/_8$	0	$^7/_8\,\Delta$

B.

	a			*b*			$t =$
I	$^3/_{16}$	$^5/_{16}$	$^9/_{16}$	$^3/_{16}$	$^{13}/_{16}$	$^9/_{16}$	0
II	$^3/_{16}$	$^7/_{16}$	$^9/_{16}$	$^3/_{16}$	$^{15}/_{16}$	$^9/_{16}$	$^1/_8\,\Delta$
III	$^3/_{16}$	$^9/_{16}$	$^9/_{16}$	$^3/_{16}$	$^1/_{16}$	$^9/_{16}$	$^2/_8\,\Delta$
IV	$^3/_{16}$	$^{11}/_{16}$	$^9/_{16}$	$^3/_{16}$	$^3/_{16}$	$^9/_{16}$	$^3/_8\,\Delta$
I_1	$^3/_{16}$	$^{13}/_{16}$	$^9/_{16}$	$^3/_{16}$	$^5/_{16}$	$^9/_{16}$	$^4/_8\,\Delta$
II_1	$^3/_{16}$	$^{15}/_{16}$	$^9/_{16}$	$^3/_{16}$	$^7/_{16}$	$^9/_{16}$	$^5/_8\,\Delta$
III_1	$^3/_{16}$	$^1/_{16}$	$^9/_{16}$	$^3/_{16}$	$^9/_{16}$	$^9/_{16}$	$^6/_8\,\Delta$
IV_1	$^3/_{16}$	$^3/_{16}$	$^9/_{16}$	$^3/_{16}$	$^{11}/_{16}$	$^9/_{16}$	$^7/_8\,\Delta$

Aus dieser Tabelle sieht man gleich, dass jetzt die Curve IV im Punkte *b* nicht die Ordinaten- und Abscissenumkehrung der Curve II im Punkte *a* darstellt: die Ordinaten- und Abscissenumkehrung würde die Phasen $^{13}/_{16}$, $^9/_{16}$, $^7/_{16}$ haben, während die Curve IV im Punkte *b* die Phasen $^3/_{16}$, $^3/_{16}$, $^9/_{16}$ hat. Zugleich ist jedoch deutlich aus der Tabelle zu sehen, dass die Curven I_1, II_1, III_1, IV_1 im Punkte *a* dieselben Einzelphasen (und also auch dieselbe Gesammtgestalt) haben wie I, II, III, IV in *b*, und umgekehrt.

Man sieht aus dieser Betrachtung, wie vorsichtig man sein muss in der Beurtheilung der (bis jetzt immer gezeichneten) Curven, die ganz specielle Fälle der Phasenbeziehungen darstellen.

XL.

Sehen wir jetzt, wie es bei dem Dreiklang $5\,d : 6\,d : 7\,d$ ist. Die Curven V, VI, VII, VIII (Fig. 5 bis 8 Tafel X und XI) stellen die folgenden Bewegungsformen dar:

V. $\sin 2\pi\, 5\, d \cdot t + \sin 2\pi\, 6\, d \cdot t + \sin 2\pi\, 7\, d \cdot t.$

VI. $\sin 2\pi\, 5\, d \cdot t + \sin 2\pi\, (6\, d \cdot t + {}^1/_8) + \sin 2\pi\, 7\, d \cdot t.$

VII. $\sin 2\pi\, 5\, d \cdot t + \sin 2\pi\, (6\, d \cdot t + {}^2/_8) + \sin 2\pi\, 7\, d \cdot t.$

VIII. $\sin 2\pi\, 5\, d \cdot t + \sin 2\pi\, (6\, d \cdot t + {}^4/_8) + \sin 2\pi\, 7\, d \cdot t.$

Hierbei ist wieder $t = o$ im Punkte a der Curven.

Es verschiebt sich jetzt die Sinuscurve für $6\,d$ längs der Abscisse nach links. Weil die Zahl 6 gerade ist, 5 und 7 ungerade, hat jetzt der mittlere Ton in b (der Mitte der Curve) dieselbe Phase wie in a, während die Phase der beiden anderen in b um $^1/_2$ verschieden ist von ihrer Phase in a.

Die Phasentabelle für $p_1 = p_2 = p_3 = o$ wird nun (Tabelle C):

C.

	a			b			$t =$
V	0	0	0	$^4/_8$	0	$^4/_8$	0
VI	0	$^1/_8$	0	$^4/_8$	$^1/_8$	$^4/_8$	$^1/_8\,\Delta$
VII	0	$^2/_8$	0	$^4/_8$	$^2/_8$	$^4/_8$	$^2/_8\,\Delta$
	0	$^3/_8$	0	$^4/_8$	$^3/_8$	$^4/_8$	$^3/_8\,\Delta$
VIII	0	$^4/_8$	0	$^4/_8$	$^4/_8$	$^4/_8$	$^4/_8\,\Delta$
	0	$^5/_8$	0	$^4/_8$	$^5/_8$	$^4/_8$	$^5/_8\,\Delta$
	0	$^6/_8$	0	$^4/_8$	$^6/_8$	$^4/_8$	$^6/_8\,\Delta$
	0	$^7/_8$	0	$^4/_8$	$^7/_8$	$^4/_8$	$^7/_8\,\Delta$
Töne	$5\,d$	$6\,d + \Delta$	$7\,d$	$5\,d$	$6\,d + \Delta$	$7\,d$	

Die Curve $\sin 2\pi\, 5\,d \cdot t + \sin 2\pi\,(6\,d \cdot t + {}^3/_8) + \sin 2\pi\, 7\,d \cdot t$ ist nicht gezeichnet; sie ist für $t = o$ im Punkte b die Abscissenumkehrung von Curve VI für $t = o$ in a. Denn diese Abscissenumkehrung ist (für die Anfangsphasen p_1, $p_2 + {}^1/_8$ und p_3)

$$\sin 2\pi\,(-5\,d \cdot t + p_1) + \sin.\, 2\pi\,(-6\,d \cdot t + p_2 + {}^1/_8) \\ + \sin 2\pi\,(-7\,d \cdot t + p_3)$$

wofür wir schreiben können

$$\sin 2\pi\,(5\,d \cdot t - p_1 + {}^1/_2) + \sin 2\pi\,(6\,d \cdot t - p_2 + {}^3/_8) \\ + \sin 2\pi\,(7\,d \cdot t - p_3 + {}^1/_2).$$

Man sieht, dass für $p_1 = p_2 = p_3 = o$ diese Form übereinstimmt mit der Form, worin $6\,d$ die Anfangsphase $^3/_8$ hat[1]), im Punkte b; aber auch nur für den genannten Fall.

Wir sehen nun aber, dass nicht, wie es beim Dreiklang $4\,d : 5\,d : 6\,d$ der Fall war, die Curve VIII im Punkte b dieselbe ist, wie V in a. Es tritt nicht zwei Mal genau dieselbe Curve auf; jedoch ist die Curve VIII in b die Ordinatenumkehrung von Curve V in a, denn die wäre für die Anfangsphasen p_1, p_2 und p_3:

$$-\sin 2\pi\,(5\,d \cdot t + p_1) - \sin 2\pi\,(6\,d \cdot t + p_2) - \sin 2\pi\,(7\,d \cdot t + p_3)$$

wofür wir schreiben können

1) D. h. die, nicht gezeichnete, vierte Curve der Tabelle C.

$$\sin 2\pi (5\,d\cdot t + p_1 + {}^1/_2) + \sin 2\pi (6\,d\cdot t + p_2 + {}^1/_2) + \sin 2\pi (7\,d\cdot t + p_3 + {}^1/_2)$$

Das ist die Curve VIII von *b* ab gerechnet. Ebenso sind die nach VIII kommenden Curven in *b* die Ordinatenumkehrungen von den nach V kommenden in *a*. Dieses gilt nicht nur für die gezeichneten Curven, sondern auch für jeden beliebigen Werth von p_1, p_2 und p_3.

Nehmen wir nun vorläufig mit Hermann an, dass die Ordinatenumkehrung denselben Klang repräsentirt wie die ursprüngliche Curve, so müssen wir auch bei diesem Dreiklang bei Verstimmung der mittleren Note zwei Mal dieselbe Reihe von Klangfarben hören in der Zeit, dass sich diese Note um eine Schwingung längs der Abscisse verschiebt, d. h. in $\frac{1}{\Delta}$ Sec. bei einer Verstimmung von Δ-Schwingungen. In einer Secunde tritt also $2\,\Delta$ Mal derselbe Klang auf, was mit der gefundenen Anzahl Schwebungen bei Verstimmung der mittleren Note übereinstimmt (vgl. Cap. XIX).

Wird einer der anderen Töne ($5\,d$ oder $7\,d$) verstimmt, so tritt in $\frac{1}{\Delta}$ Sec. weder die Anfangscurve noch deren Ordinatenumkehrung noch einmal auf. Die Phasentabelle würde für Verstimmung von $5\,d$ und $p_1 = p_2 = p_3 = o$ die folgende sein:

D.

	a			*b*			$t=$
	0	0	0	$^4/_8$	0	$^4/_8$	0
	$^1/_8$	0	0	$^5/_8$	0	$^4/_8$	$^1/_8\,\Delta$
	$^2/_8$	0	0	$^6/_8$	0	$^4/_8$	$^2/_8\,\Delta$
	$^3/_8$	0	0	$^7/_8$	0	$^4/_8$	$^3/_8\,\Delta$
	$^4/_8$	0	0	0	0	$^4/_8$	$^4/_8\,\Delta$
	$^5/_8$	0	0	$^1/_8$	0	$^4/_8$	$^5/_8\,\Delta$
	$^6/_8$	0	0	$^2/_8$	0	$^4/_8$	$^6/_8\,\Delta$
	$^7/_8$	0	0	$^3/_8$	0	$^4/_8$	$^7/_8\,\Delta$
Töne	$5d+\Delta$	$6d$	$7d$	$5d+\Delta$	$6d$	$7d$	

Es tritt hierbei nirgendwo dieselbe Phasenbeziehung, noch diejenige der Ordinatenumkehrung irgend einer früheren Curve auf. Es tritt jetzt also in $\frac{1}{\Delta}$ Sec. nur eine Reihe von Klangfarben auf, und in einer Secunde Δ Mal dieselbe Reihe. Dies stimmt mit der Anzahl der Schwebungen bei Verstimmung von $5\,d$ oder $7\,d$ überein.

Es ist deutlich, dass die Betrachtungen, die wir für den Dreiklang $4\,d:5\,d:6\,d$ angewandt haben, ebenso gelten für alle Dreiklänge, deren einfachste Verhältnisszahlen drei auf einander folgende Zahlen sind, davon die mittlere ungerade ist. Die für $5\,d:6\,d:7\,d$ geführte Betrachtung gilt offenbar für alle Dreiklänge, deren einfachste Verhältnisszahlen drei auf einander folgende sind, davon die mittlere eine gerade Zahl ist. Das ist damit im Einklang, dass sowohl bei der ersten wie bei der letzten Gruppe von Dreiklängen die Anzahl der Schwebungen bei Verstimmung der mittleren Note immer $2\,\Delta$, bei Verstimmung einer der äusseren Noten Δ beträgt.

XLI.

Gehen wir nun zu anderen Dreiklängen über, z. B. $5d:7d:11d$. Ist zunächst $5\,d$ verstimmt, so bekommen wir die folgende Phasentabelle, wenn wir für jeden Vierteltheilpunkt der Curven die Phasen angeben:

E.

Stelle der Curve	a			$1/4$		
Curve für $t=0$	0	0	0	$1/4$	$3/4$	$3/4$
Curve für $t=1/2\,\Delta$	$2/4$	0	0	$3/4$	$3/4$	$3/4$
Töne	$5d+\Delta$	$7d$	$11d$	$5d+\Delta$	$7d$	$11d$

Stelle der Curve	$2/4$			$3/4$		
Curve für $t=0$	$2/4$	$2/4$	$2/4$	$3/4$	$1/4$	$1/4$
Curve für $t=1/2\,\Delta$	0	$2/4$	$2/4$	$1/4$	$1/4$	$1/4$
Töne	$5d+\Delta$	$7d$	$11d$	$5d+\Delta$	$7d$	$11d$

Wir sehen, dass für $t=\frac{1}{2\,\Delta}$ an keiner Stelle der Curve dieselbe Phasenbeziehung wie an einer Stelle der Curve für $t=o$ besteht und auch nicht die Phasenbeziehung einer Ordinatenumkehrung. Wir bemerken jedoch, dass für $t=\frac{1}{2\,\Delta}$ auf $1/4$ der Curve die Phasen $3/4$, $3/4$, $3/4$, d. h. alle gleich sind, wie auch auf $3/4$ der Curve, wo sie alle drei gleich $1/4$ sind. Dies ist in der Curve für $t=o$ der Fall an den Stellen a und $2/4$. Wären für die Anfangsphasen in der ersten Curve p_1, p_2 und p_3 statt Null genommen, so würden die

Phasen am Punkte $^1/_4$ der zweiten Curve gleich $p_1 + {}^3/_4$, $p_2 + {}^3/_4$, $p_3 + {}^3/_4$ gewesen sein und am Punkte $^3/_4$ derselben Curve: $p_1 + {}^1/_4$, $p_2 + {}^1/_4$ und $p_3 + {}^1/_4$. Die Phasendifferenzen sind also an diesen Stellen der zweiten Curve gleich den Phasendifferenzen an den Stellen a und $^2/_4$ der ersten Curve, n. l. jedes Mal gleich $p_2 - p_1$, $p_3 - p_2$ und $p_3 - p_1$. Ebenso sind die Phasendifferenzen der zweiten Curve in a und $^2/_4$ gleich denen der ersten Curve in den Punkten $^3/_4$ und $^1/_4$.

Aehnliche Resultate erhalten wir, wenn wir bei Verstimmung von $7\,d$ die Curven für $t = o$, $t = \frac{1}{3\,\Delta}$ und $t = \frac{2}{3\,\Delta}$ betrachten und zwar an ihren Sechsteltheil-Punkten. Wir erhalten dann folgende Tabelle für die Phasen der einzelnen Sinuscurven:

F.

Stelle der Curve	a			$^1/_6$			$^2/_6$		
Curve für $t = 0$ . .	0	0	0	$^5/_6$	$^1/_6$	$^5/_6$	$^4/_6$	$^2/_6$	$^4/_6$
Curve für $t = {}^2/_6\,\Delta$	0	$^2/_6$	0	$^5/_6$	$^3/_6$	$^5/_6$	$^4/_6$	$^4/_6$	$^4/_6$
Curve für $t = {}^4/_6\,\Delta$	0	$^4/_6$	0	$^5/_6$	$^5/_6$	$^5/_6$	$^4/_6$	0	$^4/_6$
Töne	$5\,d$	$7\,d + \Delta$	$11\,d$	$5\,d$	$7\,d + \Delta$	$11\,d$	$5\,d$	$7\,d + \Delta$	$11\,d$

Stelle der Curve	$^3/_6$			$^4/_6$			$^5/_6$		
Curve für $t = 0$ . .	$^3/_6$	$^3/_6$	$^3/_6$	$^2/_6$	$^4/_6$	$^2/_6$	$^1/_6$	$^5/_6$	$^1/_6$
Curve für $t = {}^2/_6\,\Delta$	$^3/_6$	$^5/_6$	$^3/_6$	$^2/_6$	0	$^2/_6$	$^1/_6$	$^1/_6$	$^1/_6$
Curve für $t = {}^4/_6\,\Delta$	$^3/_6$	$^1/_6$	$^3/_6$	$^2/_6$	$^2/_6$	$^2/_6$	$^1/_6$	$^3/_6$	$^1/_6$
Töne	$5\,d$	$7\,d + \Delta$	$11\,d$	$5\,d$	$7\,d + \Delta$	$11\,d$	$5\,d$	$7\,d + \Delta$	$11\,d$

Jetzt hat die Curve für $t = \frac{1}{3\,\Delta}$ an den Stellen $^2/_6$ und $^5/_6$ dieselben Phasendifferenzen wie die Curve für $t = o$ im Punkte a (und $^3/_6$); an den Stellen a, $^1/_6$, $^3/_6$ und $^4/_6$ dieselben wie die erste Curve an den Stellen $^4/_6$, $^5/_6$, $^1/_6$ und $^2/_6$. Ebenso kommen die Curvenstellen a, $^1/_6$, $^2/_6$, $^3/_6$, $^4/_6$, $^5/_6$ der Curve $t = \frac{2}{3\,\Delta}$ resp. überein mit den Stellen $^5/_6$, a, $^1/_6$, $^2/_6$, $^3/_6$, $^4/_6$ der ersten Curve und den Stellen $^1/_6$, $^2/_6$, $^3/_6$, $^4/_6$, $^5/_6$, a der zweiten Curve.

Ist $11\,d$ die verstimmte Note, so können wir die Zeit $\frac{1}{\Delta}$

gar nicht weiter vertheilen in einer solchen Weise, dass wir Curven mit den gleichen Phasendifferenzen wie die Anfangscurve bekommen.

XLII.

Es sei bemerkt, dass nach $\frac{1}{\Delta}$ Sec. immer nicht nur eine Curve mit gleichen Phasendifferenzen auftritt, sondern genau dieselbe Curve wie für $t = o$. Es scheint dies selbstverständlich zu sein, doch kann ich nicht unterlassen, hier noch einige Worte zur Verdeutlichung hinzuzufügen, weil es absolut nothwendig ist, dass wir einen klaren Einblick in die Phasenbeziehungen haben. — Selbstverständlich ist es allerdings bei den Beispielen, die man gewöhnlich nimmt, n. l. bei ganzen Schwingungszahlen und $\Delta = 1$. Wir müssen uns die Sache jedoch klar machen für ganz willkürliche Schwingungszahlen und Verstimmungen. Habe ich z. B. den Dreiklang $5\,d:7\,d:11\,d$ und ist $d = 111{,}1$, so dass die Töne sind: 555,5, 777,7 und 1222,1; sei ferner $\Delta = 1{,}616$ und die Phasen der drei einzelnen Töne für $t = o$ gleich p_1, p_2 und p_3. Es sind dann nicht einmal für $t = 1$ Sec. die Phasen wie zu Anfang, denn sie sind $p_1 + 0{,}5$, $p_2 + 0{,}7$ und $p_3 + 0{,}1$. Ist $t = \frac{1}{\Delta}$, so sind resp. 343,75, 481,25 und 756,25 Schwingungen vollbracht (wenn die Töne nicht verstimmt sind), und also die Phasen $p_1 + 0{,}75$, $p_2 + 0{,}25$ und $p_3 + 0{,}25$. Für $t = 2$ sind die Phasen p_1, $p_2 + 0{,}4$ und $p_3 + 0{,}2$.

Dennoch haben wir es hier immer mit derselben Curve zu thun. Nur sind wir an den bezeichneten Zeitpunkten nicht gerade beim Anfang der Curve angelangt, sondern bei irgend einem anderen Punkte der Curve. So sind wir im Zeitpunkt $t = 1$ beim $^1/_{10}$ Theilpunkt der Curve angelangt; gehen wir $^1/_{10}$ der Curve zurück oder $^9/_{10}$ voran, d. h. nehmen wir $t = 1 - \frac{1}{10\,d}$, oder $t = 1 + \frac{9}{10\,d}$, dann bekommen wir für die drei Phasen wieder p_1, p_2 und p_3 statt $p_1 + 0{,}5$, $p_2 + 0{,}7$ und $p_3 + 0{,}1$, weil wir resp. $^1/_{10} \times 5 = 0{,}5$, $^1/_{10} \times 7 = 0{,}7$, $^1/_{10} \times 11 = 1{,}1$ Schwingungen zurück, oder $^9/_{10} \times 5 = 4{,}5$, $^9/_{10} \times 7 = 6{,}3$, $^9/_{10} \times 11 = 9{,}9$ voran gehen (für die einzelnen Sinuscurven). Wir sehen dann gleich, dass wir noch dieselbe Curve haben. Dies ist gerade so für jeden Werth von t, wenn die Töne nicht verstimmt sind. Für $t = \frac{1}{\Delta}$ sind wir z. B. auf $^3/_4$ der Curve

angelangt und bekommen wir die ursprünglichen Anfangsphasen zurück, wenn wir 1/4 der Gesammtcurve weiterrücken, d. h. $t = \frac{1}{\varDelta} + \frac{1}{4d}$ nehmen.

Ist nun einer der Töne um $\varDelta$-Schwingungen verstimmt, so gilt die Betrachtung nicht mehr; wir haben dann nicht mehr für jedes t dieselbe ursprüngliche Curve: so in unserem Beispiel nicht einmal für $t = 1$, denn dann hat die verstimmte Note (wenn nach der Höhe hin verstimmt worden ist) 1,616 (also nicht eine ganze Zahl) Schwingungen zu viel gemacht und dadurch die Phasenbeziehung gänzlich verändert. An den Punkten $t = \frac{1}{\varDelta}$, $t = \frac{2}{\varDelta}$ u. s. w. jedoch haben wir, wie zuvor, dieselbe Curve wie in denselben Zeitpunkten bei den unverstimmten Noten, weil die verstimmte Note dann 1 resp. 2 u. s. w. (d. h. eine ganze Zahl) Schwingungen zu viel gemacht hat, also die Phase wieder die gleiche ist und die obige Betrachtung wieder unverändert zur Geltung kommen kann.

Wir sehen also, dass in den Zeitpunkten $\frac{1}{\varDelta}$, $\frac{2}{\varDelta}$ u. s. w. immer nicht nur eine Curve mit den gleichen Phasendifferenzen, sondern genau die gleiche Curve wie für $t = 0$ besteht.

XLIII.

Wir hatten oben gesehen, dass für den Dreiklang $5d:7d:11d$ bei Verstimmung von $5d$ nach einer Zeitperiode von $\frac{1}{2\varDelta}$ Sec., bei Verstimmung von $7d$ nach $\frac{1}{3\varDelta}$ Sec., und im Allgemeinen nach $\frac{k}{2\varDelta}$ resp. $\frac{k}{3\varDelta}$ (k eine ganze Zahl) Sec. eine Curve mit den gleichen Phasendifferenzen auftritt. Jedes Mal, wenn k durch 2 resp. 3 theilbar ist, ist diese Curve zugleich dieselbe wie die Anfangscurve. Nehmen wir nun an, dass nicht nur die Curven, die vollständig gleich oder gegenseitige Ordinatenumkehrungen sind, sondern auch Curven, zusammengestellt aus Sinuscurven, die die gleichen Phasendifferenzen haben wie die der Anfangscurve, den gleichen Klang repräsentiren, so müssen auch die Zahlen des Timbrewechsels in unseren zwei Beispielen gleich $2\varDelta$ resp. $3\varDelta$ sein, was wieder mit der gefundenen Anzahl der

Schwebungen in diesen Fällen übereinstimmen würde[1]). Es fallen dann die Ordinatenumkehrungen (wo die Phasen $p_1 + {}^1/_2$, $p_2 + {}^1/_2$ und $p_3 + {}^1/_2$ sind) dieser allgemeineren Gruppe von Curven als specieller Fall anheim.

Haben wir dieses nun einmal angenommen, so können wir versuchen, die empirisch gefundene Regel von Cap. XXXIII für die Anzahl der Schwebungen allgemein zu beweisen.

XLIV.

Sind α, β und γ die einfachsten Verhältnisszahlen dreier Töne, so dass die Töne durch $\alpha\, d$, $\beta\, d$ und $\gamma\, d$ vorgestellt werden können, und sei

$$\beta - \alpha = a;\ \gamma - \beta = b;\ \gamma - \alpha = c.$$

Ist nun einer der Töne, z. B. $\gamma\, d$ um Δ-Schwingungen nach der Höhe hin verstimmt, so ist die Frage, nach wieviel Zeit eine Curve mit denselben Phasendifferenzen auftritt wie die Anfangscurve. Sind die Anfangsphasen p_1, p_2 und p_3, so sind diese Differenzen $p_2 - p_1$, $p_3 - p_2$ und $p_3 - p_1$. Betrachten wir nur den Anfangspunkt der Curve, so muss der verstimmte Ton eine ganze Schwingung nachholen, um denselben Zustand der Phasendifferenzen herbeizuführen. Gäbe es jedoch eine Stelle in der Curve, wo die Phasen der unverstimmten Töne um eine gleiche Grösse, z. B. r zugenommen hätten, während die des verstimmten Tones um eine andere Grösse s gewachsen wäre, so wären die Phasen in diesem Punkt resp. $p_1 + r$, $p_2 + r$ und $p_3 + s$, worin r und s echte pos. Brüche sind. Da s von r verschieden ist, braucht jetzt der verstimmte Ton, je nachdem $s < r$ oder $s > r$ nur $r - s$ resp. $r + 1 - s$ nachzuholen, d. h. jedenfalls weniger als eine ganze Schwingung, weil die genannten Differenzen < 1 sind. Die Phasen werden dann $p_1 + r$, $p_2 + r$, $p_3 + r$, resp. $p_1 + r$, $p_2 + r$, $p_3 + r + 1 = p_3 + r$, so dass die ursprünglichen Phasendifferenzen $p_2 - p_1$, $p_3 - p_2$, $p_3 - p_1$ wieder hergestellt sind. Weil hierbei weniger als eine ganze Schwingung nachzuholen ist, ist die Zeit, nach welcher diese Curve auftritt, kleiner als $\frac{1}{\Delta}$ Sec., und die Anzahl der Schwebungen grösser als Δ.

Es handelt sich also darum, Punkte in der Anfangscurve anzuweisen, wo die Phasendifferenz der zwei unverstimmten Töne dieselbe wie zu Anfang ist, während die Differenz der Phase des verstimmten Tones von denen der anderen zwei eine andere geworden

1) Vgl. Cap. XXIII.

ist. Ist γd der verstimmte Ton, so kann dies offenbar nur der Fall sein an den Stellen $\frac{1}{a}, \frac{2}{a}, \frac{3}{a}$ u. s. w. der Curve, denn da sind die drei Töne weiter gerückt um resp.

$$\frac{\alpha}{a} \quad \frac{\beta}{a} \quad \frac{\gamma}{a} \text{ Schwingungen an der Stelle } \frac{1}{a}$$

$$\frac{2\alpha}{a} \quad \frac{2\beta}{a} \quad \frac{2\gamma}{a} \text{ Schwingungen an der Stelle } \frac{2}{a} \text{ u. s. w.}$$

An der Stelle $\frac{1}{a}$ hat der Ton βd $\frac{\beta}{a} - \frac{\alpha}{a} = \frac{a}{a} = 1$; an der Stelle $\frac{2}{a}$ $\frac{2\beta}{a} - \frac{2\alpha}{a} = \frac{2a}{a} = 2$ Schwingungen, d. h. eine ganze Anzahl Schwingungen mehr gemacht als der Ton αd. Somit ist hier der Phasenunterschied wieder derselbe, $p_2 - p_1$. Der Ton γd hat an der Stelle $\frac{1}{a}$ $\frac{\gamma}{a} - \frac{\beta}{a} = \frac{b}{a}$ Schwingungen mehr gemacht als der Ton βd; an der Stelle $\frac{2}{a}$ $\frac{2\gamma}{a} - \frac{2\beta}{a} = \frac{2b}{a}$ Schwingungen.

Haben b und a einen gemeinschaftlichen Factor q, so dass $b = q. b'$ und $a = q. a'$ und b' und a' die einfachsten Verhältnisszahlen von b und a sind, so können wir für die genannten Brüche schreiben $\frac{b'}{a'}, \frac{2b'}{a'}$ u. s. w. Sobald nun an den Stellen $\frac{1}{a}, \frac{2}{a}$ u. s. w. der Curve auch der Ton γd eine ganze Anzahl Schwingungen mehr zurückgelegt hat als βd, wird auch die Phasendifferenz von γd und βd wieder dieselbe sein wie zu Anfang, $p_3 - p_2$. Dieses wird der Fall an der Stelle $\frac{1}{a}$ der Curve, wenn der Ton γd $K - \frac{b'}{a'}$; an der Stelle $\frac{2}{a}$, wenn er $K - \frac{2b'}{a'}$, u. s. w. Schwingung nachgeholt haben wird, wobei K jedes Mal die kleinste ganze Zahl ist, so dass die erwähnten Differenzen $K - \frac{b'}{a'}$, $K - \frac{2b'}{a'}$ u. s. w. nicht negativ werden.

Für das Wiederhergestelltwerden einer Curve mit den ursprünglichen Phasendifferenzen muss nun an den Stellen $0, \frac{1}{a}, \frac{2}{a}$ u. s. w. bis $\frac{a'-1}{a}$ der verstimmte Ton $1, K - \frac{b'}{a'}, K - \frac{2b'}{a'}$ u. s. w. bis $K - \frac{(a'-1)b'}{a'}$ Schwingung nachholen. An der Stelle $\frac{a'}{a}$ wird der Bruch, dessen Werth wir als Phasenrückstand bezeichnen

können, zu $K - \frac{a'\,b'}{a'} = 0$; an dieser Stelle müsste also wieder eine ganze Schwingung nachgeholt werden; ebenso an der Stelle $\frac{a'+1}{a}$ wieder $K - \frac{b'}{a'}$ so dass es bei $\frac{a'}{a}$ von Neuem anfängt. Die Brüche $K - \frac{b'}{a'}$ u. s. w. können wir auch schreiben in der Form $\frac{K a' - b'}{a'}$, $\frac{K a' - 2 b'}{a'} \cdots \frac{K a' - (a'-1)\, b'}{a'}$.

Weil a' und b' keinen gemeinschaftlichen Factor haben, bekommt der Zähler dieser Brüche alle Werthe 1, 2 u. s. w. bis $a' - 1$ und nicht zwei Mal denselben Werth. Die nachzuholenden Phasenrückstände werden also die folgenden, verschiedenen Werthe sein, a' an der Zahl (nur im Allgemeinen in anderer Reihenfolge).

$$1, \frac{1}{a'}, \frac{2}{a'} \text{ u. s. w. bis } \frac{a'-1}{a'} \text{ Schwingung.}$$

Weil 1 Schwingung in $\frac{1}{\varDelta}$ Secunde nachgeholt wird, wird eine Curve mit den ursprünglichen Phasendifferenzen auftreten nach den folgenden Zeitabschnitten: $\frac{1}{\varDelta}, \frac{1}{a'\varDelta}, \frac{2}{a'\varDelta}$ u. s. w. bis $\frac{a'-1}{a'\varDelta}$, d. h. in jeder $\frac{1}{\varDelta}$ Secunde a' Mal und also in jeder Secunde $a'\varDelta$ Mal.

Ist $\beta\, d$ verstimmt, so müssen wir die Stellen suchen, wo $\alpha\, d$ und $\gamma\, d$ die gleiche Phasendifferenz wie zu Anfang haben. Das ist der Fall an den Stellen $\frac{1}{c}, \frac{2}{c}, \frac{3}{c}$ u. s. w. der Curve. Denn an diesen Stellen hat $\gamma\, d$ $\frac{\gamma}{c} - \frac{\alpha}{c} = \frac{c}{c} = 1$, $\frac{2\gamma}{c} - \frac{2\alpha}{c} = 2$, u. s. w. ganze Schwingungen mehr gemacht als $\alpha\, d$. $\beta\, d$ hat an diesen Stellen $\frac{\beta}{c} - \frac{\alpha}{c} = \frac{b}{c}$ Schwingung, $\frac{2b}{c}$ u. s. w. mehr gemacht als $\alpha\, d$; für die Herstellung der ursprünglichen Phasendifferenzen muss also $\beta\, d$ an den Stellen

$$\frac{1}{c}, \frac{2}{c} \text{ u. s. w.}$$

$K - \frac{b}{c}$, $K - \frac{2b}{c}$ u. s. w. Schwingung nachholen. Wir kommen auf diese Weise zu dem Resultat, dass die Verstimmung von $\beta\, d$

in $\frac{1}{\varDelta}$ Secunde c, oder wenn a und b den gemeinschaftlichen Factor q haben, (so dass $c = q \cdot c'$) c' verschiedene Werthe des Phasenrückstandes auftreten. Dadurch entsteht in $\frac{1}{\varDelta}$ Secunde c' Mal und in einer Secunde $c' \varDelta$ Mal eine Curve mit den ursprünglichen Phasendifferenzen.

Durch eine ähnliche Betrachtung ergibt sich, dass solche Curven bei Verstimmung des Tones αd pro Secunde $b' \varDelta$ Mal auftreten.

Halten wir also unsere Annahme fest, dass eine Curve mit den ursprünglichen Phasendifferenzen denselben Klang wie die Anfangscurve oder wenigstens einen so ähnlichen vorstellt, dass die Schwebungen daraus erklärt werden können, dann haben wir jetzt die Regel (Cap. XXXIII) für die Anzahl dieser in erheblichem Klangfarbenwechsel bestehenden Schwebungen vollständig theoretisch begründet. Denn es sind ja a', b' und c' die einfachsten Verhältnisszahlen der Differenzen der Schwingungsfrequenzen der unverstimmten Töne, wenn γd, αd und βd die resp. verstimmten Töne sind.

XLV.

Man sieht jetzt auch, woher wir für die Zusammenstellung der Phasentabelle *E*, wo $5d$ (des Dreiklanges $5d : 7d : 11d$) der verstimmte Ton war, die Vierteltheilpunkte der Curve als besondere Stellen betrachten mussten, während es bei der Tabelle *F*, wo $7d$ der verstimmte Ton ist, die Sechsteltheilpunkte waren. Es ist n. l. wenn $5d$ verstimmt ist, 4 die Differenz der einfachsten Verhältnisszahlen der unverstimmten Töne; wenn $7d$ verstimmt ist, ist es 6. Wäre $11d$ der verstimmte Ton, so brauchten wir nur den Anfang und die Mitte der Curve zu betrachten, weil nur an diesen zwei Stellen die Phasendifferenz der unverstimmten Töne dieselbe wie am Anfang der Curve ist. Wir bekommen dann folgende Tabelle (wobei $p_1 = p_2 = p_3 = 0$):

G.

Stelle der Curve	a			$^1/_2$		
Curve für $t = 0$	0	0	0	$^1/_2$	$^1/_2$	$^1/_2$
Töne	$5d$	$7d$	$11d + \varDelta$	$5d$	$7d$	$11d + \varDelta$

Weil nun aber in der Mitte (1/2) der Curve die Töne $5\,d$, $7\,d$ und $11\,d$ resp. 5/2-, 7/2-, 11/2-Schwingungen gemacht haben, sind die Phasen nicht nur der zwei unverstimmten Töne, sondern von allen drei Tönen gleich 1/2. Auch an dieser Stelle der Curve muss also der verstimmte Ton eine ganze Schwingung nachholen, um die ursprünglichen Phasendifferenzen herzustellen. Daraus geht hervor, dass innerhalb des Zeitintervalls $\frac{1}{\varDelta}$ Secunde nicht noch ein Mal eine Curve mit den ursprünglichen Phasendifferenzen auftritt, und dass eine solche (und zwar die Anfangscurve selbst) nur $\varDelta$ Mal pro Secunde auftaucht.

H.

Stelle der Curve	a			1/8			2/8			3/8		
Curve für $t = 0$	0	0	0	3/8	7/8	3/8	3/4	3/4	3/4	1/8	5/8	1/8
Curve für $t = 1/2\,\varDelta$	0	1/2	0	3/8	3/8	3/8	3/4	1/4	3/4	1/8	1/8	1/8
Töne	$3\,d$	$7\,d + \varDelta$	$11\,d$	$3\,d$	$7\,d + \varDelta$	$11\,d$	$3\,d$	$7\,d + \varDelta$	$11\,d$	$3\,d$	$7\,d + \varDelta$	$11\,d$

Stelle der Curve	4/8			5/8			6/8			7/8		
Curve für $t = 0$	1/2	1/2	1/2	7/8	3/8	7/8	1/4	1/4	1/4	5/8	1/8	5/8
Curve für $t = 1/2\,\varDelta$	1/2	0	1/2	7/8	7/8	7/8	1/4	3/4	1/4	5/8	5/8	5/8
Töne	$3\,d$	$7\,d + \varDelta$	$11\,d$	$3\,d$	$7\,d + \varDelta$	$11\,d$	$3\,d$	$7\,d + \varDelta$	$11\,d$	$3\,d$	$7\,d + \varDelta$	$11\,d$

Wenn wir den Vorgang bei dem Dreiklang $3\,d : 7\,d : 11\,d$ mit Verstimmung von $7\,d$ betrachten wollen, so müssen wir uns die Achteltheilpunkte der Curve ansehen. Hierfür dient die Tabelle H. Man sieht, wie an den Stellen 2/8, 4/8 und 6/8 die Phasendifferenzen die gleichen sind wie am Anfang (a) der Curve. An den Stellen 1/8, 3/8, 5/8 und 7/8 der Curve für $t = 0$ hat der verstimmte Ton einen Phasenrückstand von 4/8-Schwingung; dieser ist in der Curve für $t = \frac{1}{2\,\varDelta}$ nachgeholt (ausgeglichen) worden. Nach $\frac{1}{\varDelta}$ Secunde tritt wieder die Anfangscurve selbst auf. In diesem Fall ist $c = 8$ und $c' = 2$, weil a ($= 4$) und b ($= 4$) den gemeinschaftlichen Factor 4 haben. Es gibt in jeder Curve nur c' ($= 2$) verschiedene Phasenrückstände, die sich nach jedem 2/8 Theil der Curve wiederholen.

Es leuchtet jetzt auch ein, wie der Bau eines Dreiklanges in Bezug auf die von mir besprochenen Erscheinungen auf's Engste zusammenhängt mit dem Verhältniss der Differenzen der einfachsten Verhältnisszahlen der Schwingungsmengen. Am einfachsten sind diejenigen Dreiklänge gebaut, bei denen $a = b$ ist. In diesem Fall sind alle die Brüche der Phasenrückstände $K - \frac{b}{a}$, $K - \frac{2b}{a}$ u. s. w. und $K - \frac{a}{b}$ gleich Null; d. h. es muss an all' diesen Curvenstellen, gerade wie am Anfange der Curve, eine ganze Schwingung nachgeholt werden vom verstimmten Tone. Daher ist, wenn $a = b$ ist, bei Verstimmung des tiefsten wie des höchsten Tones, immer die Anzahl der Schwebungen nur Δ. Weil in diesem Falle a, b und c den gemeinsamen Factor a ($= b$) haben, so ist immer $c' = 2$, und die Anzahl der Schwebungen bei Verstimmung des mittleren Tones gleich 2Δ. Zu dieser Rubrik von Dreiklängen gehören also z. B. 4 : 5 : 6, 5 : 6 : 7, 5 : 7 : 9, 7 : 9 : 11, 3 : 7 : 11, so dass Dreiklänge mit sehr aus einander laufenden Verhältnisszahlen, wenn man die Differenzen dieser letzten in Betracht zieht, als ähnlich gebaut erscheinen. Durch dergleichen Betrachtungen sieht man auch ein, dass Dreiklänge von der Rubrik, wo a ein Vielfaches von b ist, immer bei Verstimmung des tiefsten Tones, — Dreiklänge, wobei b ein Vielfaches von a, stets bei Verstimmung des höchsten Tones, nur Δ-Schwebungen erzeugen werden.

XLVI.

Nachdem es nun deutlich geworden ist, dass die Schwebungen der Dreiklänge auf das periodische Auftreten des gleichen Phasenunterschiedes der drei Töne zurückgeführt werden müssen, können wir noch einmal einen Blick auf die Zweiklänge werfen. In Bezug auf diese letzteren ist es nicht entschieden, ob ihre Schwebungen dem Wechsel der Phasenbeziehung der einfachen Töne zugeschrieben werden sollen oder nur zu Stande kommen, weil die Töne nicht einfach, sondern von Obertönen begleitet seien, oder dass man zur Erklärung sich zufrieden stellen soll mit der Berechnung von Combinationstönen sehr verschiedener Ordnung (mit oder ohne Zuhülfenahme der Obertöne), welche man unter einander Schwebungen bilden lässt.

Ich will mich jetzt damit begnügen, nur die Möglichkeit einer Erklärung aus dem Phasenwechsel der zwei einfachen Töne zu untersuchen.

[illegible]

[illegible]

Nach $\frac{1}{d}$ Secunde hat der tiefere Ton durch seine Verstimmung eine ganze Schwingung nachgeholt [illegible] und besitzt also denselben Phasenzustand und dieselbe Superpositionscurve wie zu Anfang. Nach einer beliebigen Zeit $\frac{1}{y}$ Secunde hat der verstimmte Ton $\frac{\delta}{y}$ Schwingungen nachgeholt. — Betrachten wir die Anfangscurve ($t = 0$) an einem beliebigen Ort, z. B. auf $\frac{1}{x}$ Theil der Curve, so haben an dieser Stelle die zwei Töne resp. $\frac{\alpha}{x}$ und $\frac{\beta}{x}$ Schwingungen vollbracht. Dadurch ist eine Phasendifferenz des höheren und des tieferen Tones von $\frac{\beta - \alpha}{x} = \frac{\delta}{x}$ Schwingung entstanden. Sobald der verstimmte Ton diesen Phasenrückstand durch seine Verstimmung nachgeholt hat, ist die Phasendifferenz an der Stelle $\frac{1}{x}$ der Curve, wie sie am Anfang der Curve für $t = o$ war.

Die Ausdrücke „Anfang der Curve“ und „eine bestimmte Stelle der Curve für $t = \frac{1}{y}$ Secunde“ sind so aufzufassen: Die Superpositionscurve hat die Periode $\frac{1}{d}$ und ist aufgebaut aus α-Schwingungen des tieferen und β des höheren Tones. Hat der unverstimmte Ton nach $\frac{1}{y}$ Secunde $(k + \vartheta) \cdot \beta$-Schwingungen vollbracht (k eine ganze positive Zahl, ϑ ein echter positiver Bruch), dann ist der „Anfang der Curve“ die Stelle, wo genau $k \cdot \beta$-Schwingungen des unverstimmten Tones vollbracht sind, d. h. die Stelle, wo $t = \frac{k}{d}$.

Die ganze Curve liegt zwischen diesem und dem Zeitpunkt $t = \frac{k+1}{d}$.]

Nehmen wir $x = \frac{a y}{\varDelta}$, so dass $\frac{a}{x} = \frac{\varDelta}{y}$, so wird dieser Phasenrückstand gerade nach $\frac{1}{y}$ Secunde ausgeglichen und besteht also nach $\frac{1}{y}$ Secunde dieselbe Phasendifferenz am $\frac{\varDelta}{a y}$ Theil der Curve, wie in der ursprünglichen Curve am Anfang derselben. Die beiden Phasen brauchen jedoch nicht dieselben zu sein. Wären die Anfangsphasen p_1 und p_2, so können sie nach $\frac{1}{y}$ Secunde am $\frac{\varDelta}{a y}$ Theil der Curve q_1 und q_2 sein, nur ist $q_2 - q_1 = p_2 - p_1$.

Hieraus sieht man, dass nach jedem beliebigen Zeitabschnitt eine Superpositionscurve besteht, deren Phasendifferenz im Anfangspunkt gleich ist derjenigen, welche an einem bestimmten, leicht anzugebenden Punkte der ursprünglichen Curve bestand. Bei den Zweiklängen finden wir also nicht, was bei den Dreiklängen der Fall war, ein periodisches Auftreten von Curven, welchen ein bestimmter Phasenunterschied der zusammensetzenden Töne zu Grunde liegt. Daraus geht sogleich hervor, dass die Schwebungen der Zweiklänge nicht in derselben Weise erklärt werden können wie die der Dreiklänge. Dieses Ergebniss ist ein willkommenes (s. u.).

XLVII.

Wie können wir denn die Zweiklangsschwebungen erklären?

Seien wieder die Schwingungszahlen $\alpha d + \varDelta$ und βd, $\beta - \alpha = a$, β und α einfachste Verhältnisszahlen. Auf dem $\frac{1}{\beta}$ Theil der ursprünglichen Curve haben die zwei Töne seit dem Anfangspunkt der Curve resp. $\frac{\alpha}{\beta}$ und $\frac{\beta}{\beta} = 1$ Schwingung vollbracht. An der Stelle $\frac{1}{\beta}$ der Curve ist der tiefere Ton also $\frac{\beta - \alpha}{\beta} = \frac{a}{\beta}$ Schwingung in der Phase zurück. Diese $\frac{a}{\beta}$ Schwingung holt der tiefere Ton durch seine Verstimmung in $\frac{a}{\beta \varDelta}$ Secunde nach. D. h. nach $\frac{a}{\beta \varDelta}$ Secunde

haben am $\frac{1}{\beta}$ Theil der Superpositionscurve die einzelnen Töne beide eine ganze Anzahl Schwingungen vollbracht, und sind die Phasen der beiden Töne die gleichen wie am Anfang der Curve für $t = o$. Wären die Anfangsphasen für $t = o$ p_1 und p_2, so ist für $t = \frac{a}{\beta \Delta}$ am $\frac{1}{\beta}$ Theil der Curve nicht nur der Phasenunterschied von βd und αd wieder $p_2 - p_1$, sondern auch sind an dieser Stelle die zwei Phasen wieder p_1 und p_2, so dass gänzlich dieselbe Bewegungsform und also auch derselbe Klang wie für $t = o$ besteht.

Am $\frac{2}{\beta}$ Theil der Curve für $t = o$ ist der Phasenrückstand des tieferen Tones $\frac{2\beta}{\beta} - \frac{2\alpha}{\beta} = \frac{2a}{\beta}$ Schwingung. Dieser ist durch die Verstimmung nachzuholen in $\frac{2a}{\beta \Delta}$ Secunde. Für $t = \frac{2a}{\beta \Delta}$ besteht also am $\frac{2}{\beta}$ Theil der Curve wieder derselbe Phasenzustand wie für $t = o$ am Anfang der Curve.

Am $\frac{x}{\beta}$ Theil der Curve für $t = o$ ist der Phasenrückstand des tieferen Tones $\frac{xa}{\beta} - k$, worin x eine ganze positive Zahl $< \beta$ und k die grösste ganze positive Zahl, so gewählt, dass $\frac{xa}{\beta} - k$ nicht negativ wird. $\frac{xa}{\beta} - k$, auch zu schreiben in der Form $\frac{xa - k\beta}{\beta}$, ist also immer ein positiver echter Bruch $\frac{q}{\beta}$. Weil α und β keinen gemeinschaftlichen Factor haben, haben a und β auch keinen. Daraus geht hervor, dass der Bruch $\frac{q}{\beta}$ bei x-Werthen von 0 bis $\beta - 1$ alle Werthe $0, \frac{1}{\beta}, \frac{2}{\beta}$ u. s. w. bis $\frac{\beta - 1}{\beta}$ annimmt, nur nicht immer (n. l. nicht, wenn nicht $a = 1$) in dieser Reihenfolge. Diese Werthe sind zu bezeichnen als Phasenrückstände, sie bedeuten den Theil einer Schwingung, den der verstimmte Ton αd an den Punkten $0, \frac{1}{\beta}, \frac{2}{\beta}$ u. s. w. bis $\frac{\beta - 1}{\beta}$ der Superpositionscurve nachzuholen hat, um die ursprüngliche Phasendifferenz herzustellen. Da an diesen Punkten der unverstimmte Ton immer eine ganze

Anzahl Schwingungen vollbracht hat, haben die beiden Töne an diesen Stellen der Curven nach den Zeitintervallen 0 $\left(\text{oder } \frac{1}{\varDelta}\right)$, $\frac{1}{\beta \varDelta}$, $\frac{2}{\beta \varDelta}$ u. s. w. bis $\frac{\beta - 1}{\beta \varDelta}$ Secunde wieder dieselben Phasen wie am Anfang der Curve für $t = o$. Nach jeder dieser Zeitperioden tritt also dieselbe Bewegungsform und somit auch derselbe Klang wie bei $t = o$ auf. Dies geschieht also in $\frac{1}{\varDelta}$ Secunde β Mal und in jeder Secunde $\beta \varDelta$ Mal.

Auf dieselbe Weise kann man ableiten, dass bei Verstimmung des höheren Tones $\beta\, d$ um $\varDelta$-Schwingungen, in jeder Secunde $\alpha \varDelta$ Mal die ursprüngliche Bewegungsform entsteht.

XLVIII.

Wir sehen also, dass die Frequenz des Auftretens der ursprünglichen Bewegungsform mit der Anzahl der Zweiklangsschwebungen übereinstimmt, denn diese ist ja gleich dem Product der Anzahl Schwingungen, um welche der eine Ton verstimmt ist, und der einfachsten Verhältnisszahl des unverstimmten Tones.

Wollen wir nun auch wirklich die Zweiklangsschwebungen aus dem beschriebenen Wechsel der Bewegungsform erklären, so haben wir die Schwebungen der Dreiklänge einerseits und diejenigen der Zweiklänge andererseits ungleichartigen Processen zugeschrieben. Die Dreiklangsschwebungen n. l. haben ihren Ursprung in dem periodischen Auftreten von Curven, bei denen an irgend einer Stelle eine bestimmte gegenseitige Differenz der Phasen der einzelnen Töne besteht, ohne dass diese Curven genau identisch wären. Die Zweiklangsschwebungen aber würden beruhen auf dem periodischen Auftreten einer und derselben Curve, d. h. einer Curve, bei der die zwei Töne an irgend einer Stelle je eine bestimmte Phase haben.

Das Auftreten einer Curve mit der ursprünglichen Phasendifferenz fällt bei den Dreiklängen zusammen mit dem Auftreten der ursprünglichen Curve selbst:

1. In allen Fällen, wo die Schwebungsfrequenz nur $\varDelta$ pro Secunde ist; denn nach $\frac{1}{\varDelta}$ Secunde hat der verstimmte Ton immer eine ganze Schwingung zu viel gemacht und besteht also wieder genau der ursprüngliche Zustand;

2. in den Fällen, wo die Differenzzahl der einfachsten Verhältnisszahlen der zwei unverstimmten Töne zugleich ein gemeinschaftlicher Factor dieser zwei einfachsten Verhältnisszahlen ist, wie das bei folgenden verstimmten Dreiklängen der Fall ist:

$$\begin{array}{lll} 4d & 2d & 6d \\ 5d \pm \varDelta & 4d & 7d \pm \varDelta \\ 6d & 5d \pm \varDelta & 9d \end{array}$$

Das rührt daher, dass bei den ersten zwei Dreiklängen auf der Mitte der Superpositionscurve, beim letzten auf $^1/_3$ der Curve die zwei unverstimmten Töne gerade ein paar ganze Schwingungen vollbracht haben, und, wenn der verstimmte Ton seinen Phasenrückstand an dieser Stelle der Curve nachgeholt hat, nicht nur die ursprüngliche Phasendifferenz, sondern auch die drei Anfangsphasen auf's Neue hergestellt sind. Sonst ist es bei den Dreiklängen immer so, dass nach $\frac{1}{\varDelta}$ Secunde genau die ursprüngliche Curve besteht, dass dazwischen aber einige Zeitpunkte sind, wo eine Curve sich findet, die nur die gleiche Phasendifferenz der einzelnen Töne hat. Dass man dann nicht die Schwebungsfrequenz $\varDelta$, sondern $x \cdot \varDelta$ hört, muss also daher stammen, dass die Curve mit der ursprünglichen Phasendifferenz schon den gleichen oder einen, dem Klang der ursprünglichen Curve genügend gleichen Klang repräsentirt, um den Eindruck des Wiederauftauchens des ursprünglichen Klanges hervorzubringen.

XLIX.

Ich kann mir nun diese Frage stellen:

Hört man dann vielleicht bei den Dreiklängen ausser dem Rhythmus $x \cdot \varDelta$ des periodischen Auftretens einer Curve mit bestimmter Phasendifferenz auch noch den Rhythmus $\varDelta$ des periodischen Auftretens einer und derselben Curve, welches bei den Zweiklängen den ausschliesslichen Grund der Schwebungen bildet?

Ich muss sogleich bemerken, dass ich mir diese Frage während der Untersuchung der Dreiklänge nicht gestellt habe. Es ist aber ein Rhythmus innerhalb eines anderen Rhythmus kaum zu überhören, weil er diesen letzteren unregelmässig macht. Nachträglich finde ich jedoch in der Untersuchung ein paar Fälle bei einem weniger einfach gebauten Dreiklang (vgl. Cap. XLV), die für die Beantwortung der eben aufgestellten Frage herbeigezogen werden

könnten. Sicher muss aber die Frage für die allermeisten Fälle und besonders für die einfach gebauten Dreiklänge in negativem Sinne beantwortet werden. Was die für eine positive Beantwortung vielleicht in Frage kommenden Fälle anbetrifft, so wurde bei dem Dreiklang $4d - \Delta$

$5d$

$7d$ ausser dem Rhythmus 2Δ, bei starkem Anschlagen noch ein Rhythmus Δ auf dem Tone d gehört (ein Rhythmus 3Δ war nur unter besonderen Umständen und schwer herauszubekommen). Bei dem Dreiklange $4d$

$5d - \Delta$,

$7d$ wo als Hauptrhythmus 3Δ gehört wurde, schrieb ich, was für die gestellte Frage wichtig scheint:

„Von den 3Δ-Stössen sind je drei zu einem System vereinigt, so dass man sie am leichtesten als Δ solche Systeme zählt. Auch macht es oft den Eindruck, als ob von je drei Stössen einer fehlte, auch oft, als ob der erste von je drei durch einen Stoss auf einer tieferen Note, n. l. d (100) verdeckt würde." (Der Rhythmus 2Δ, der bei diesem Klang auch noch erwähnt ist, wurde nur bei starkem Anschlagen im ersten Moment gehört, nicht beim weiteren Abfliessen des Klanges.)

Man könnte nun also geneigt sein, in diesen zwei Fällen den neben 2Δ resp. 3Δ gehörten Rhythmus Δ dem periodischen Auftreten einer bestimmten Curve zuzuschreiben, während der Rhythmus 2Δ resp. 3Δ dem Auftreten von Curven mit einer bestimmten Phasendifferenz entspricht. Es könnte z. B. sein, dass der tiefste Combinationston d nur bei einem gewissen Phasenzustand besonders in den Vordergrund träte, so dass er nur die Δ Mal, dass genau dieselbe Curve mit den Einzeltonphasen p_1, p_2, p_3 käme, hörbar würde, während andere Töne (z. B. der Combinationston $3d$) in jeder Curve mit einer bestimmten Phasendifferenz deutlich vorhanden wäre, und also auch hörbar wäre, wenn die Phasen $p_1 + {}^1/_3$, $p_2 + {}^1/_3$, $p_3 + {}^1/_3$ oder $p_1 + {}^2/_3$, $p_2 + {}^2/_3$, $p_3 + {}^2/_3$ wären.

L.

Wäre immer eine bestimmte Curve, die also nur Δ Mal pro Secunde auftritt, eben so verschieden von den anderen Curven, die aber dieselbe Phasendifferenz haben wie die erste, so würde immer

neben dem Rhythmus $x \cdot \Delta$ der Rhythmus Δ auch gehört werden. Weil das nun aber in der Regel gar nicht der Fall ist, so heben sich offenbar die Curven mit nur gleicher Phasendifferenz von den zwischenliegenden Zuständen viel mehr als von diesen letzteren verschieden, aber unter einander gleichartig, ab, als die Δ Mal auftretenden identischen Curven sich von den zwischenliegenden Curven mit derselben Phasendifferenz abheben. Hieraus muss es wahrscheinlich erklärt werden, dass die Schwebungen der weniger einfachen Zweiklänge (wobei ein Einfluss von Obertönen kaum anzunehmen ist) wie $4d:5d$, $5d:6d$, $6d:7d$, $3d:5d$, sehr wenig prägnant (z. B. in den letzten zwei Fällen selbst sehr schwer hörbar) sind, während die aus denselben Tönen zusammengestellten Dreiklänge, wie $4d:5d:6d$, $5d:6d:7d$, $3d:5d:7d$, Schwebungen geben, die mit der grössten Leichtigkeit von Ungeübten gehört werden. Dennoch ist bei den Zweiklängen einer von zwei Tönen, bei den Dreiklängen aber nur einer von drei Tönen verstimmt.

Der Unterschied in der Deutlichkeit der Schwebungen der Zweiklänge einerseits und der Dreiklänge andererseits wird illustrirt durch die folgenden Worte Lord Kelvin's, und (soweit die Zweiklänge betrifft) Helmholtz':

Lord Kelvin sagt (l. c. Cap. XIII):

„In every instance except the octave, the beat on the approximation to a binary harmony is less distinct than the beat on an approximation to a ternary or higher multiple harmony with only one note false."

Nach ihm gibt also unter den Zweiklängen nur die Octave Schwebungen, welche in Deutlichkeit denjenigen der Dreiklänge gleichkommen. Wir wissen aber, dass die sogen. hohen Octavenschwebungen zum Theil oder ganz der Anwesenheit des ersten Obertons der tieferen Note zugeschrieben werden müssen [1]). Ich glaube aber bis jetzt, dass die tiefen Octavenschwebungen unseren Zweiklangsschwebungen angehören und also auf dem periodischen Auftreten identischer Curven beruhen [2]).

---

1) Stumpf, Wiedemann's Annalen Bd. 57.

2) Nach einem von mir angestellten Interferenzversuch, wobei der erste Oberton der Gabel 300 ausgezeichnet ausgelöst war, waren die tiefen Schwebungen für mein Ohr immer da, solange der Ton 300, der durch zwei Zimmer hindurch bis in ein viertes Zimmer geleitet wurde, selbst noch mit genügender Intensität herüberkam. Die Interferenz fand im zweiten Zimmer statt.

Helmholtz sagt[1]): dass die Schwebungen der Quarte schon sehr schwach sind, auch bei starken primären Tönen, und dass: „Kaum noch wahrzunehmen, auch unter den günstigsten Bedingungen, sind die Schwebungen der unreinen grossen Terz.“

Die Schwebungen von *5:6* und *6:7* sind aber noch schwerer wahrzunehmen, und dann noch wieder schwerer die von *3:5*.

LI.

Obgleich ich in diesem Aufsatz die Zweiklangsschwebungen nicht eingehend besprechen will, kann ich doch nicht unterlassen, mit zwei Worten den Beweis Hermann's zu berühren, wonach jede Octavenschwebung nothwendig eine Obertonschwebung sein soll.

Hermann sagt[2]), dass, wenn zusammentönen 101 und 200, zwei Mal pro Secunde die vier Hauptfälle der Phasencoincidenz auftreten:

$$a,\ b,\ c,\ d,\ a,\ b,\ c,\ d.$$

a und c, wie auch b und d sind gegenseitige Ordinatenumkehrungen. Nach Hermann's Versuchen am Edison'schen Phonographen klinge $a = c$ und $b = d$. Daher müsste man pro Secunde vier Abwechslungen hören, wenn der Klangwechsel vom Phasenwechsel abhinge:

$$a,\ b,\ a,\ b,\ a,\ b,\ a,\ b.$$

Man höre jedoch nur zwei Abwechslungen pro Secunde. Also können diese nicht aus dem Phasenwechsel, sondern müssen sie erklärt werden als Schwebungen des Obertones 202 mit dem Primärtone 200.

Hierzu muss ich Folgendes bemerken:

Wenn es richtig ist[3]), dass die Ordinatenumkehrung nur als ein specieller Fall zu betrachten ist unter all den Curven, in welchen die einzelnen Töne an irgend einer Stelle die Phasen $p_1 + x$, $p_2 + x$ u. s. w. haben bei den Anfangsphasen p_1, p_2 u. s. w., so können wir bei den Zweiklängen nicht die Ordinatenumkehrungen als Curven betrachten, die, als der ursprünglichen Curve gleich in Klangfarbe, besonders herauszuheben wären. Denn wir wissen ja, dass bei den Zweiklängen für jeden Zeitpunkt an einer gewissen

1) Tonempfindungen, 5. Aufl., S. 329.
2) Wiedemann's Annalen Bd. 58.
3) Vgl. Cap. XLIII.

Stelle der Curve der Phasenzustand $p_1 + x$, $p_2 + x$ (d. h. die ursprüngliche Phasen differenz) besteht. Es können sich dann nur die, der ursprünglichen identischen Curven, denen also die Phasen p_1, p_2 zu Grunde liegen, als besondere Fälle herausheben, und wir hören also doch nur zwei Abwechslungen pro Secunde, d. h. dieselbe Frequenz wie die Octavenschwebung: *a*, *b*, *c*, *d*, *a*, *b*, *c*, *d*.

LII.

Wenn auch theoretisch der Phonograph ohne Zweifel das ideale Instrument zur Herstellung einer Ordinatenumkehrung ist, so möchte ich doch meinen, dass zur Beantwortung unserer Frage die Phonographenversuche, wenigstens in der bis jetzt erfolgten Anwendung des Instrumentes, bei dem einfachen Schwebungsexperimente zurückstehen. Wenn es auch theoretisch möglich ist, mittelst des Phonographen den Phasenzustand $p_1 + {}^1/_2$, $p_2 + {}^1/_2$, $p_3 + {}^1/_2$ u. s. w. herzustellen, so ist es doch, wenn man die Töne nicht einzeln dem Instrument zuführt und sie als gesonderte Curven aufschreiben lässt, auch theoretisch nicht möglich, den Phasenzustand $p_1 + x$, $p_2 + y$, $p_3 + z$ u. s. w. zu erzeugen. Um dies zu Stande zu bringen, könnte man allerdings versuchen, den Phonographen in der Art der Wellensirene mit mehreren, zugleich angeblasenen Scheiben zu verwerthen, indem man die einzeln aufgenommenen einfachen Töne von besonderen Reproductoren, entweder an einem oder an mehreren Phonographen zugleich, reproduciren liesse. Unterschiede aber, die selbst bei den Schwebungen schwer zu hören sind, würden wohl kaum, die Brandung der Nebengeräusche brechend, des Labyrinthes lockende Küste erreichen.

Wenn man jetzt noch einmal einen Rückblick wirft auf Cap. X, so fällt es auf, dass R. König die von ihm erwähnten grossen Klangfarbenunterschiede gerade bei Curven gefunden hat, bei denen die einzelnen Töne jedes Mal dieselbe Phasendifferenz haben. In Curve I (Cap. X) haben alle drei Töne die Anfangsphase *o*, in II alle drei ${}^1/_4$ u. s. w. Es sind also Curven, die, wenn der von mir bei den Dreiklängen nachgewiesene Einfluss der Phasenbeziehung auch für die Klänge, bestehend aus einem Grundton mit einer Reihe von Obertönen, gälte, gerade keinen Unterschied der Klangfarbe aufweisen müssten. Unter meinen Versuchen kommt auch der Dreiklang $d : 2d : 3d$ vor, d. h. also ein Klang, bestehend aus einem Grundton mit den ersten zwei Obertönen (vgl. Cap. XXIX). Bei Ver-

stimmung des tiefsten Tones hörte man die typischen Dreiklangsschwebungen. Bei Verstimmung des mittleren Tones wurden sie von den deutlichen Octavenschwebungen der zwei ersten Primärtöne begleitet. Bei Verstimmung des höchsten Tones waren sie, weil sie den gleichen Rhythmus hatten, nicht zu scheiden von der Zweiklangsschwebung des ersten und dritten Primärtones. Aus den ersten zwei Fällen sieht man aber, dass die Regel der Dreiklangsschwebungen, d. h. die Gleichartigkeit der Klänge mit gleicher Phasendifferenz, auch für den erwähnten Klang, bestehend aus Grundton mit zwei Obertönen, Geltung hat.

LIII.

Wir sind u. A. zu folgenden Schlüssen gelangt:

Durch richtige Wahl der Versuchsumstände kann man einen deutlich wahrnehmbaren Einfluss der Phasenbeziehung, mit welcher einige Töne zu einem Klang sich verbinden, auf die Art dieses Klanges feststellen.

Drei Töne, deren Schwingungszahlen in einem einfachen Verhältniss stehen, geben, wenn einer von ihnen um ein Geringes verstimmt ist, Schwebungen, deren Anzahl durch die Regel von Cap. XXXIII bestimmt wird.

Diese Schwebungen bestehen für die Perception in einem periodischen Wechsel der Klangfarbe, für die Apperception (wenn es mir erlaubt ist, der Kürze wegen diese beiden Wörter zu gebrauchen) in einem periodischen Wechsel der Stärke, mit der jede einzelne Tonempfindung zum Bewusstsein gelangt. Diesem Wechsel unterliegen auch besonders deutlich die nur der Combination der drei Töne entsprossenen Tonempfindungen. Dass die Schwebung als ein Klangfarbenwechsel empfunden wird, stammt daher, dass die Curven des Stärkewechsels der einzelnen Tonempfindungen im Bewusstsein Unterschiede der Phase, der Amplitude und der Ordinate ihrer Gleichgewichtslage aufweisen. (Diese stilgemässe Ausdrucksweise wird hoffentlich zu keiner Verwirrung Anlass geben.) Weil die Periode dieses Intensitätswechsels allen einzelnen, dem betreffenden schwebenden Dreiklang als solchem eigenen Tonempfindungen, die überhaupt ihre Stärke wechseln, gemeinsam ist, können wir den ganzen Vorgang einer einheitlichen Ursache zuschreiben:

Der Ursprung der Dreiklangsschwebung ist zu suchen in der Fähigkeit des Ohres, Curven mit gleichem Phasenunterschiede der

zusammensetzenden Töne als von den Curven mit anderen Phasendifferenzen verschieden, aber unter einander gleichartig, zu erkennen.

Diese Fähigkeit schreiben wir dem Ohre zu, weil sich auf diese Annahme eine vollständige theoretische Begründung der durch die Schwebungsversuche empirisch festgestellten Regel von Cap. XXXIII aufbauen lässt.

Die Ordinatenumkehrung einer Curve spielt in unseren Versuchen keine andere Rolle als die einer Curve mit demselben Phasenunterschiede wie die ursprüngliche.

Nachdem wir die Dreiklangsschwebungen mit Erfolg aus dem Wechsel des Phasenzustandes zu erklären versucht haben, ist es rationell, die Zweiklangsschwebungen ebenfalls direct auf die Art der Verbindung der beiden einfachen Töne zurückführen zu wollen:

Die Zweiklangsschwebungen sind wahrscheinlich (d. h. dass die angebliche Rolle der Obertöne noch einer näheren kritischen Betrachtung unterzogen werden muss) zurückzuführen auf die periodische Rückkehr jeder Curve, der bestimmte Phasenwerthe der beiden einfachen Töne zu Grunde liegen, d. h. auf das periodische Auftreten identischer Curvenformen.

Bis jetzt hatte man nur von Bewegungsformen gesprochen, deren einzelne pendelartige Elemente einen gewissen Phasenunterschied aufweisen, und nicht solche davon abgeschieden, bei denen die pendelartigen Elemente Phasenwerthe von bestimmter Grösse haben.

LIV.

Wie verhält sich die Rolle, die ich die Phasen habe spielen lassen, zu der Auffassung des Componisten der „Lehre von den Tonempfindungen“?

Helmholtz sagte[1]):

„Das Auge, mit dem genannten Instrumente (Vibrationsmikroskop) bewaffnet, unterscheidet also wirklich die Form der Schwingung als solche, und unterscheidet alle verschiedenen Formen der Schwingung; das Ohr dagegen unterscheidet nicht alle verschiedenen Schwingungsformen, sondern nur solche, welche, in pendelartige Schwingungen zerlegt, verschiedene Bestandtheile ergeben; aber indem es eben diese Bestandtheile einzeln unterscheidet und empfindet, ist es dem Auge, welches dies nicht kann, wieder überlegen.“

1) Tonempfindungen, 5. Aufl., S. 209.

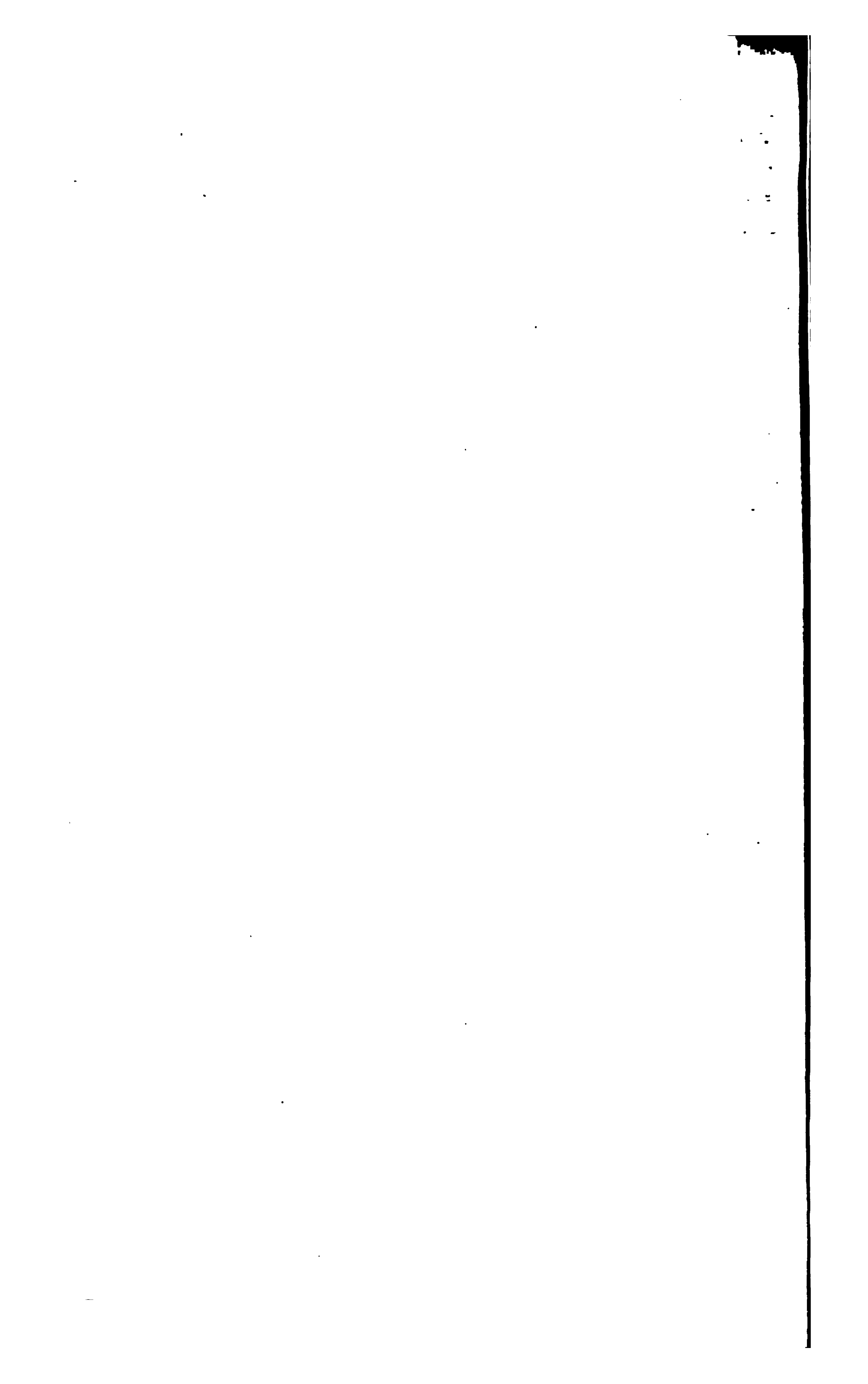
Anhanges. (Fahnentabelle 1.)

Ve								Wirkliche Zuckungs- bezw. Verdickungs-höhe mm	Mechan. Arbeit gmm	Mechan. Latenz[1])
	8,05	7,6	7,0	6,8	6,2	—	—	1,05	20,35	0,0125″
	6,172	6,064	4,952	6,117	4,152	—	—	—	—	—
	6,118	5,508	5,535	5,185	—	—	—	—	—	—
B.	6,25	5,95	5,4	5,1	4,45	—	—	—	—	—
	3,348	4,926	3,522	4,076	2,231	—	—	—	—	—
	3,742	4,575	3,66	3,615	—	—	—	—	—	—
	7,35	6,95	6,5	6,15	6,0	5,4	5,0	1,076	20,77	0,01″
	5,472	5,585	4,964	4,955	5,448	3,352	3,635	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	0,478	9,23	0,015″
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	0,587	11,33	0,0175″
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2,3	1,9	—	—	—	—	—	0,88	16,99	0,0125″
	1,693	0,687	—	—	—	—	—	—	—	—
	1,190	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	0,826	15,94	0,014″
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	1,29	24,96	0,0125″
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	1,25	24,12	0,01″
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

nur die Tonhöhe in's Auge fasst. Auch wäre es nicht schlecht, das Wort „Klangfarbe“ nur zu gebrauchen für die Art eines Klanges, bestehend aus Grundton mit Obertönen und für alle andere Klänge (z. B. Dreiklänge, Accorde) einfach den Ausdruck „Klangart“ oder Art eines Klanges zu verwenden. Der Begriff „Klangart“ ist weiter reichend als „Klangfarbe“ und begreift den letzteren als Theilbegriff in sich. Wir können dabei auch fernerhin von der Klangfarbe eines bestimmten Instrumentes reden bleiben, auch wenn sich die Geräusche allmählich einen mehr oder weniger erheblichen Einfluss auf dieselbe erwerben möchten.

Anhanges. (Fahnentabelle 1.)

	V							Wirkliche Zuckungs- bezw. Verdickungshöhe mm	Mechan. Arbeit gmm	Mechan. Latenz [1])
	8,05	7,6	7,0	6,8	6,2	—	—	1,05	20,35	0,0125″
	6,172	6,064	4,952	6,117	4,152	—	—	—	—	—
	6,118	5,508	5,535	5,185	—	—	—	—	—	—
B	6,25	5,95	5,4	5,1	4,45	—	—	—	—	—
	3,348	4,926	3,522	4,076	2,231	—	—	—	—	—
	3,742	4,575	3,66	3,615	—	—	—	—	—	—
	7,35	6,95	6,5	6,15	6,0	5,4	5,0	1,076	20,77	0,01″
	5,472	5,585	4,964	4,955	5,448	3,352	3,635	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	0,478	9,23	0,015″
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	0,587	11,33	0,0175″
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2,3	1,9	—	—	—	—	—	0,88	16,99	0,0125″
	1,693	0,687	—	—	—	—	—	—	—	—
	1,190	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	0,826	15,94	0,014″
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	1,29	24,96	0,0125″
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	1,25	24,12	0,01″
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—



Ad Nr.					
1 (3)	7,35	6,95	6,5	6,15	6,0
	5,472	5,585	4,964	4,955	5,48
2 (4)	7,35	6,65	6,25	5,7	—
	5,472	4,09	4,885	3,822	—
3 (5)	4,55	4,05	3,55	—	—
	1,99	2,343	1,843	—	—
4 (6)	6,2	5,95	5.4	5,2	4,8
	5,005	5,097	3,522	4,517	3,43
5 (7)	7,05	6,45	6,2	5,9	5,6
	6,538	4,743	5,347	4,876	4,57
	5,192	5,196	4,994	4,651	3,85
6 (8)	7,0	6,5	6,3	6,1	5,6
	4,952	4,793	5,617	5,417	3,89
7 (9)	6,05	5,8	—	—	—
	4,172	4,947	—	—	—
8 (10)	5,1	4,8	—	—	—
	2,71	3,776	—	—	—
9 (11)	5,45	—	—	—	—
	3,743	—	—	—	—
	14,15	—	—	—	—

Nr.					
1	5,0	4,5	4,15	3,8	3,65
	2,78142	3,7934	2,61406	2,60538	3,138
2	2,05	1,85	1,65	—	—
	1,1967	1,16736	0,96736	—	—
	1,182	1,32	—	—	—
3	6,7	6,2	5,7	5,2	4,3
	3,62312	4,4934	3,9934	3,4934	1,228
	4,058	4,243	3,293	2,361	—
4	1,5	1,35	1,25	—	—
	9,98802	0,83802	0,90868	—	—
5	2,55	2,45	2,4	2,3	2,2
	1,86736	2,10868	2,22934	1,95868	1,858
	1,927	2,169	2,162	1,934	1,889
6	3,75	3,6	3,3	2,95	—
	2,21406	3,08802	2,27604	1,75538	—
	2,651	2,682	2,016	—	—
	14,15	—	—	—	—

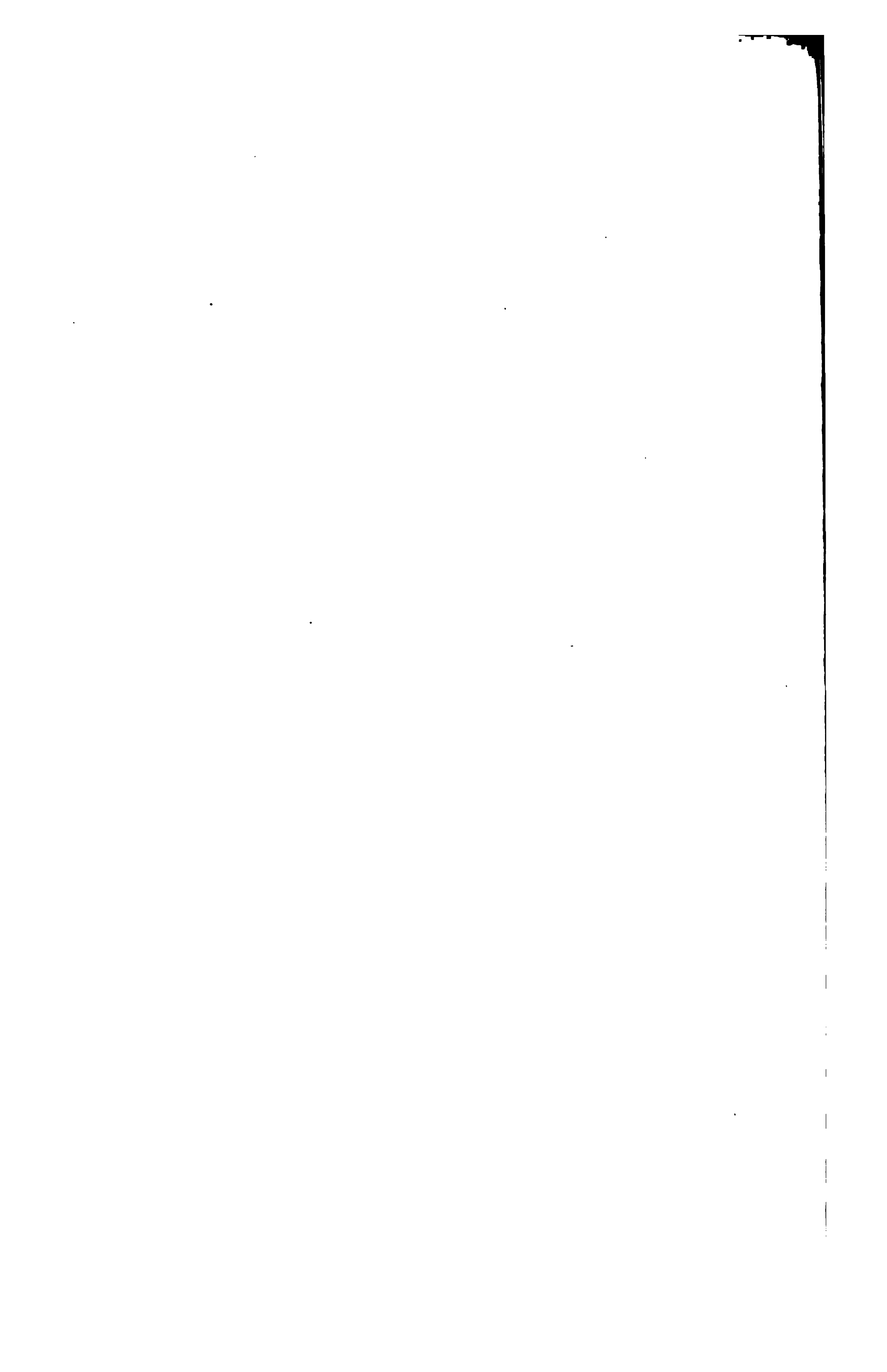
(Ad Th (Fahnentabelle 3.)

Nummer					Berechnetes Schwankungs-maximum	Wirkliche Zuckungs-höhe mm	Mechanische Arbeit gmm	Mechan. Latenz
1 (3)	Is	—	—	—	—	0,163	19,45	0,0175″
	10	—	—	—	142,5 %	—	171,7 %	—
2 (4)	Is	—	—	—	—	0,587	—	0,015″
	U	—	—	—	aus 2 4,381	—	11,33	—
		—	—	—	als 100 %	—	aus 2 11,33 als 100 %	—
3 (5)	Is	—	—	—	aus 3 4,226	0,348	6,71	0,01″
	Un	—	—	—	als 100 %	—	aus 3 6,71 als 100 %	—
4 (6)	Is	—	—	—	—	0,0326	—	0,0325″
	300	—	—	—	—	—	10,41	—
		—	—	—	125,1 %	—	155,1 %	—
5 (7)	Iso	—	—	—	—	0,054	—	0,025″
	200	—	—	—	—	—	11,92	—
		—	—	—	143,9 %	—	138,5 %	—
6 (8)	Iso	—	—	—	—	0,445	—	0,00875′
	Un	—	—	—	aus 6 3,22	—	8,6	—
		—	—	—	als 100 %	—	aus 6 8,6 als 100 %	—
7 (9)	Iso	—	—	—	aus 7 2,265	0,413	7,97	0,0075″
	Un	—	—	—	als 100 %	—	aus 7 7,97 als 100 %	—
8 (10)	Iso	—	—	—	—	0,141	—	0,01″
	100	—	—	—	276 %	—	211,3 %	—
	Rh.	5	13,85	—	—	—	—	—
	Str.				—	—	—	—

Nummer					Berechnetes Schwankungs-maximum	Wirkliche Zuckungs-höhe mm	Mechanische Arbeit gmm	Mechan. Latenz
1 (3)	Iso	5	—	—	aus 1, 3 8,524	0,826	15,94	0,014″
	Un	37	—	—	als 100 %	—	aus 1,3 15,94 als 100 %	—
		—	—	—	—	—	—	—
2 (4)	Iso		2,7	—	—	0,413	49,27	0,025″
	100	35	1,79	—	106 %	—	309,1 %	—
		13	—	—	—	—	—	—
3 (5)	Iso	5	3,35	2,95	aus 3, 5 8,426	0,826	15,94	0,0125″
	Un	76	2,743	1,737	als 100 %	—	aus 3,5 15,84 als 100 %	—
		1	2,24	—	—	—	—	—
4 (6)	Iso	5	4,0	—	—	0,195	42,91	0,02″
	200	85	3,545	—	95,7 %	—	270,9 %	—
5 (7)	Iso		2,9	—	aus 5, 7 8,881	0,815	15,73	0,01″
	Un	9	2,597	—	als 100 %	—	aus 5,7 15,10 als 100 %	—
		44	—	—	—	—	—	—
6 (8)	Iso	5	—	—	—	0,217	69,41	0,025″
	300	37	—	—	110 %	—	459,5 %	—
7 (9)	Iso		—	—	aus 7, 9 8,832	0,75	14,47	0,0125″
	Un	87	—	—	als 100 %	—	aus 7,9 14,89 als 100 %	—
			—	—	—	—	—	—
8 (10)	Iso	—	—	—	—	0,163	35,75	0,015″
	200	—	—	=	98,1 %	—	240 %	—
			—	—		—	—	—
9 (11)	Iso	—	—	—	aus 9, 11 7,805	0,793	15,31	0.01″
	Un	—	—	—	als 100 %	—	aus 9,11 15,05 als 100 %	—
10 (12)	Iso		—	—	—	0,402	47,98	0,0125″
	100	42	—	—	117,7 %	—	317,6 %	—
			—	—	—	—	—	—
11 (13)	Iso	—	—	—	—	0,772	14,89	0,01″
	Un	—	—	—	—	—	—	—
	Rh.	5	13,85	—	—	—	—	—
	Str.				—	—	—	—

(Ad Theil II.) (Fahnentabelle 4.)

Nr.							Berechnetes Schwankungs-Maximum	Wirkliche Zuckungshöhe mm	Mechanische Arbeit gmm	Mechan. Latenz
1	Isot.	*m*	0	—	0,95	1,45	aus 1, 3 3,817	0,652	12,59	0,015″
	Unb.	*b*	0	—	3,925	3,17	als 100 %	—	aus 1, 3 12,8 als 100 %	—
2	Isot.	*m*	0	[$\frac{1}{100}$]	0,85	1,55	—	0,217	25,93	0,02″
	100 g	*b*	0	[$\frac{1}{100}$]	6,174	3,74	161,7 %	—	202,7 %	—
		b	0	—	4,958	3,47	—	—	—	—
3	Isot.	*m*	0	—	0,65	1,25	aus 3, 5 3,797	0,647	13,01	0,0125″
	Unb.	*b*	0	—	2,036	3,12	als 100 %	—	aus 3, 5 12,06 als 100 %	--
4	Isot.	*m*	0	—	0,85	1,2	—	0,033	7,15	0,06″
	200 g	*b*	0	--	3,512	2,29	105,2 %	—	59,3 %	—
5	Isot.	*m*	0	[$\frac{1}{100}$]	0,5	1,2	aus 5, 7 3,905	0,576	11,12	0,0175″
	Unb.	*b*	0	[$\frac{1}{100}$]	3,632	3,39	als 100 %	—	aus 5, 7 9,76 als 100 %	—
		b	0	—	3,511	3,63	—	—	—	—
6	Isot.	*m*	0	[$\frac{1}{100}$]	0,6	1,1	—	0,016	5,206	0,0625″
	300 g	*b*	0	[$\frac{1}{100}$]	4,858	1,25	111,3 %	—	53,4 %	—
		b	0	—	2,808	2,72	—	—	—	—
7	Isot.	*m*	0	—	0,95	1,1	aus 7, 9 3,11	0,434	8,39	0,015″
	Unb.	*b*	0	—	3,925	1,57	als 100 %	—	aus 7, 9 7,13 als 100 %	—
8	Isot.	*m*	0	[$\frac{1}{100}$]	0,35	1,0	—	0,033	7,15	0,0525″
	200 g	*b*	0	[$\frac{1}{100}$]	2,542	3,08	97,6 %	—	100,3 %	—
		b	0	—	2,789	2,53	—	—	—	—
9	Isot.	*m*	0	—	0,55	0,85	aus 9, 11 2,387	0,304	5,78	0,015″
	Unb.	*b*	0	—	2,273	1,79	als 100 %	—	. . .	—
10	Isot.	*m*	0	—	1,1	1,45	—	. . .	. . .	. . .
	100 g	*b*	0	—	6,268	2,54	262,6 %	—	—	—
11	Isot.	*m*	0	—	0,6	0,8	—	0,217	4,19	0,0175″
	Unb.	*b*	0	—	2,479	1,42	—	—	. . .	—
	Rh.-Str.	*m*	0	—	3,15	6,55	—	—	—	—
		b					—	—	—	—



(Fahnentabelle 5.)

Num				Berechnetes Schwankungs-Maximum	Wirkliche Zuckungs-höhe mm	Mechanische Arbeit mmg	Mechan. Latenz
	5,1	4,95	—	aus 1, 3 18,453	1,25	24,125	0,01″
1 (	3,327	4,466	—	als 100 %	—	aus 1, 3 24,02 als 100%	—
	3,783	—	—	—	—	—	—
	5,2	4,55	4,25	—	0,527	62,89	0,0145″
2 (	3,427	2,454	3,283	119,7 %	—	261,8 %	—
	2,952	—	—	—	—	—	—
	4,8	4,4	—	aus 3, 5 20,513	1,239	23,92	0,01″
3 (	3,188	3,111	—	als 100 %	—	aus 3, 5 23,5 als 100%	—
	3,15	—	—	—	—	—	—
	5,1	4,7	4,05	—	0,342	75,08	0,02″
4 (	2,198	3,41	1,954	116,5 %	—	319,5 %	—
	2,682	—	—	—	—	—	—
	4,85	4,4	—	aus 5, 7 21,541	1,195	23,07	0,01″
5 (	4,205	2,949	—	als 100 %	—	aus 5, 7 22,39 als 100%	—
	3,577	—	—	—	—	—	—
	4,525	4,025	—	—	0,337	107,59	0,0175″
6 (	2,752	2,413	—	104,3 %	—	480,5 %	—
	2,616	—	—	—	—	—	—
7 (	3,75	—	—	aus 7 21,222	1,125	21,71	0,01″
	2,783	—	—	als 100 %	—	aus 7 21,71 als 100%	—
8 (	3,55	—	—	—	0,244	53,63	0,015″
	2,099	—	—	108 %	—	246,5 %	—
Pa							
9 (	4,55	4,0	—	aus 9, 11 15,121	1,13	21,82	0,01″
	1,971	2,227	—	als 100 %	—	aus 9, 11 21,08 als 100%	—
10 (	3,0	—	—	—	0,413	49,27	0,0125″
	1,549	—	—	94,1 %	—	233,6 %	—
	3,2	2,8	—	—	1,054	20,35	0,0125″
11 (	1,91	1,51	—	—	—	—	—
	1,71	—	—	—	—	—	—
	12,2	12,2	—	—	—	—	—
				—	—	—	—



Beiträge zur Physiologie des Raumsinns.

I. Theil.

Neue Beobachtungen an den japanischen Tanzmäusen.

Von

E. v. Cyon.

Inhalt.

Seite

1. Einleitung 427
2. Beobachtungen und Versuche an Tanzmäusen 429
3. Zusammenhang der physiologischen Beobachtungen mit den anatomischen Befunden 433
4. Analogien und Gegensätze zwischen den Bewegungen der Tanzmäuse und denen der Neunaugen 443
5. Die Bedeutung der Beobachtungen an den Tanzmäusen für die Physiologie des Raumsinns 445

Anhang 450

1. Einleitung.

In der Sitzung der „Section de Physiologie“ des XIII. internationalen medicinischen Congresses vom 7. August 1900, habe ich die Bewegungen von sieben japanischen Tanzmäusen demonstrirt, die in den beiden vorangegangenen Monaten Gegenstand meiner Beobachtungen waren (1).

Diese Tanzmäuse zeigten, nach mehreren Richtungen hin, nicht unwesentliche Abweichungen von dem Verhalten, das Rawitz im Jahre 1899 zuerst beobachtet und beschrieben hat (2), und das später von mir an einigen Mäusen genauer experimental geprüft wurde. Die wichtigste dieser Abweichungen bestand darin, dass einige dieser Tanzmäuse es vermochten, nicht ungeschickt in verticaler Richtung an der Gitterwand ihres Käfigs zu klettern[1]). Ich machte in meiner

1) Der Bericht über meine Mittheilung lautet: „Parmi les souris présentées, plusieurs peuvent grimper, mais difficilement, sur le grillage de la cage. M. de Cyon attribue cette particularité à ce qu'elles possèdent probablement encore

kurzen Mittheilung die Collegen auf die principielle Bedeutung dieses Vermögens aufmerksam, in der Voraussetzung, dass dieselbe wahrscheinlich auf einem abweichenden anatomischen Zustand ihrer verticalen Bogengänge beruhen müsse. Letztere seien vielleicht weniger verkrüppelt als bei den Mäusen, welche sowohl Rawitz als ich zuerst beobachtet haben.

In Anbetracht des theoretischen Interesses, das die Bestätigung meiner ausgesprochenen Vermuthung bieten könnte, hat es Rawitz gütigst übernommen, das Gehörorgan meiner Tanzmäuse anatomisch zu untersuchen.

Die Resultate seiner Untersuchung sind soeben veröffentlicht worden (4), und werde ich im Abschnitt 3 auf den Zusammenhang, der von Rawitz constatirten und beschriebenen Verbildungen der Bogengänge mit den von mir an diesen Thieren gemachten Beobachtungen, näher zurückkommen.

Hier soll nur constatirt werden, dass bei dem einen Paare der Tanzmäuse, welche ziemlich geschickt und von selbst in verticaler Richtung zu klettern vermochten, der kleine verticale Bogengang (der hintere) viel besser erhalten war, als bei den früheren von Rawitz untersuchten Mäusen, und auch, als bei derjenigen Gruppe meiner letzten Tanzmäuse, die diese Fähigkeit nicht besassen.

„In der zweiten Untergruppe, deren Bogengangapparat in Taf. I Fig. 2 abgebildet ist, zeigen oberer (Taf. I Fig. 2 C. s.) und hinterer (Taf. I Fig. 2 C. p.) ziemlich normale Verhältnisse“, schreibt Rawitz (S. 173). In der That, der blosse Anblick der Fig. 2 zeigt schon, dass der hintere (Verticale) Bogengang bei den betreffenden Tanzmäusen viel weniger verkrüppelt war, im Vergleich mit den entsprechenden Bogengängen der anderen Thiere. Die verticalen Canäle dieser Gruppe waren sicherlich auch functions-

---

une second paire de canaux (les verticaux inférieurs) assez bien développés (1). In meinem Aufsatz „Le sens de l'Espace“ (3), der zur selben Zeit im Drucke war, habe ich in einer Anmerkung (S. 71) mich folgendermaassen ausgedrückt: „Toutes les souris dansantes qu'on trouve dans le commerce ne présentent pas ces phénomènes avec la même précision. J'en ai rencontré qui peuvent grimper sur un grillage et qui se distinguent par d'autres particularités apparentes. Elles possèdent probablement encore une autre paire de canaux, sinon complétement developpés, mais dont les défectuosités n'empêchent pas entièrement le fonctionnement“.

fähiger, als bei allen anderen bis jetzt von Rawitz untersuchten Tanzmäusen.

2. Neue Beobachtungen an den Tanzmäusen.

Die Tanzmäuse, die ich im Mai 1900 erworben habe, zeigten schon in ihrem Aeusseren gewisse Unterschiede, sowohl unter sich, als auch besonders im Vergleich mit den Thieren, an denen ich im Sommer 1899 experimentirt habe.

Da sämmtliche erworbenen Exemplare Männchen waren, so vertheilte ich sie in den verschiedenen Käfigen, bloss ihrer äusseren Erscheinung nach; die Vertheilung hat sich als gelungen erwiesen, da die Thiere ganz friedlich zusammen lebten.

Dem Aussehen nach konnte man zwei Hauptgruppen unterscheiden. Die eine Gruppe bestand aus drei Exemplaren. Ihrer Körperform nach näherten sie sich am meisten den Tanzmäusen vom Jahre 1899. Nur waren ihre Schnauzen weniger abgerundet. Auch besassen sie am Kopfe drei grosse Flecke aus struppigem, schwarzem Haar, die ihnen ein ganz eigenthümliches, fast komisches Aussehen verliehen.

Die anderen vier Tanzmäuse ähnelten in ihrem Körperhabitus fast vollkommen den albinotischen Mäusen. Sie besassen dieselbe spitze Schnauze und einen langen Körper. Nur die kleinen Flecke an Kopf und Hüfte bildeten einen sichtbaren Unterschied. Das eine Paar war viel weisser und besass vier hellbraune Flecke, das andere deren fünf, die fast ganz schwarz waren. Auch ihrem Verhalten nach zeigten sie manche Unterschiede; ich bewahrte sie daher in gesonderten Käfigen. Nach dem Tode wurden ihre Köpfe auch in gesonderte Fläschchen gelegt. Leider entstand im letzten Augenblick eine Verwechslung der Flaschen und so zog ich es vor, sie zusammen an Rawitz zu senden.

Diese vier Tanzmäuse bildeten die erste Gruppe der von Rawitz untersuchten Tanzmäuse. Entsprechend den verschiedenen Befunden in den Verbildungen des Ohrlabyrinths sah sich dieser Forscher gezwungen, dieselben ebenfalls in zwei Untergruppen einzutheilen (Fig. 1 und 2 seiner Tafel).

Dies weist schon darauf hin, dass zwischen dem äusseren Aussehen der Thiere und den physiologischen Eigenthümlichkeiten ihrer Bewegungen[1]) einerseits, und den pathologischen Defecten ihrer

1) Siehe unten.

Bogengänge andererseits, ein bestimmter Zusammenhang bestand. Gleichzeitig legt diese anatomische Gruppirung auch Zeugniss ab, für die Vorzüglichkeit der Born'schen Platten-Modellirmethode und für die Sorgfalt, mit welcher Rawitz dieselbe angewendet hat.

Diese vier Tanzmäuse wichen am meisten von den früher von mir beobachteten ab: sie führten nur Solotänze aus, pflegten dabei die Schwänze nicht in die Höhe zu heben und nahmen auch sonst nicht die, den gemeinsamen Tänzen der japanischen Mäuse so eigenthümlichen Kopf- und Körperstellungen ein[1]). Sie tanzten auch viel mässiger, was Häufigkeit und Schnelligkeit anbetrifft. Diese Abweichungen mögen davon herrühren, dass alle vier Männchen waren; der geschlechtliche Reiz fehlte also beim Tanzen.

Dagegen weisen die folgenden Abweichungen sicherlich auf eine Verschiedenheit ihrer Abart oder Abstammung hin. Diese Tanzmäuse zeigten nicht das fortwährende Schnüffeln in der Luft, das von Rawitz sogenannte „Winden" des Kopfes. Auch waren ihre Zickzackbewegungen viel weniger ausgedrückt. Dagegen bewegten sie sich nach vorwärts, ganz wie die anderen Tanzmäuse, nur in Halbkreisen und in diagonalen Richtungen. Die auffallendste Abweichung bestand aber darin, dass sie mehr oder weniger geschickt an dem dichtnetzigen Gitter der Käfigwände in verticaler Richtung zu klettern vermochten, wobei sie aber, ebenfalls, immer in Diagonalen oder in Halbkreisen sich aufwärts bewegten, so dass ihr Körper immer schief zu liegen kam.

Auf einem schief gestellten Holzbrett mit rauher Oberfläche suchten sie nicht hinaufzuklettern, und verblieben auch auf demselben ungerne, wenn sie zwangsweise hinaufgebracht wurden. Auf einem ähnlichen Holzbrett mit kleinen Querleisten bewegten sie sich, dagegen, ganz von selbst nach aufwärts; sie vermochten auch längere Zeit auf einer Leiste zu verharren. Auf einer 4 cm breiten Holztreppe mit etwa 2 cm Steigung und mit Seitenwänden versehen, kletterten sie noch gerner herauf, wobei sie auf jeder Stufe zuerst die vier Pfoten heraufbrachten, ehe sie weiter hinaufstiegen. Sie kletterten auch bis nach oben hinauf (etwa 80 cm) und verweilten auf den Stufen mehrere Minuten lang. Das Hinabsteigen geschah mit derselben Vorsicht wie das Hinaufsteigen.

1) Siehe 5, S. 215 u. ff.

Im Gegensatz zu den früher beschriebenen Tanzmäusen, und auch zu den Mäusen der zweiten Gruppe, kehrten sie beim Absteigen vollständig um, so dass sie dabei den Kopf nach vorne hielten, und zwar gleichgültig, ob sie schnell herunterglitten oder langsam die Treppe hinabgingen. Die früheren Tanzmäuse glitten mehrmals mit dem Steiss nach vorn herab, also ohne sich umzudrehen.

Zwischen den beiden Paaren bestand in erster Linie der grosse Unterschied, dass das eine Paar (das hellere) nicht nur auf die Galtonpfeife reagirte, sondern dem Pfeifen sehr gern zuhörte. Sobald dasselbe erschallte, liefen die beiden Mäuse bis zur Ecke des Käfigs und verblieben mit ihren Schnäuzchen an die Wand gepresst, um dem Pfeifen besser zuzuhören. Das zweite Paar war vollständig taub und reagirte in keiner Weise auf die Pfeife.

Was die Bewegungsanomalien anbetrifft, so bestand zwischen beiden Untergruppen eher ein quantitativer als ein qualitativer Unterschied. Das dunklere Paar kletterte weniger geschickt und viel ungerner als das hellere Paar, führte dagegen die Tänze anhaltender und lebhafter aus.

Die beiden Paare vertrugen sich sehr gut miteinander, wie auch mit den drei Tanzmäusen der zweiten Gruppe. Ihre Käfige communicirten, sie besuchten sich gegenseitig, kehrten aber immer in ihre respectiven Käfige und kleine Holzkisten zurück, die ihnen als Schlafstellen dienten. Wie wir unten sehen werden, war das Verhalten der beiden Paare auch bei der Blendung ziemlich verschieden.

Weder diese Gruppe von Tanzmäusen, noch die andere, stiess je Schmerzensschreie aus, wie ich sie bei den früheren Mäusen hörte (5, S. 218). Sollten nur die Weibchen Stimme besitzen, oder sind die Männchen gegen Schmerz weniger empfindlich? Dies vermag ich nicht zu entscheiden.

Die zweite Gruppe von den drei Tanzmäusen zeigte in ihren Bewegungen fast sämmtliche Eigenthümlichkeiten, welche ich bei den Mäusen vom Jahre 1899 beobachtet habe. Das „Winden", die Zickzackbewegungen, die Vorwärtsbewegung in diagonaler Richtung oder in Halbkreisen, das Tanzen um die verticale Achse und das Manegelaufen u. s. w. Auch diese Mäuse führten nur Solotänze aus; nur waren die letzteren viel weniger anhaltend [1]). Alle diese Eigen-

1) Die Schnauzen bei den Tanzmäusen vom Jahre 1899 waren sichtich breiter als bei diesen. Deren Köpfe schienen auch im Verhältniss zum kleinen

thümlichkeiten waren nur weniger scharf ausgeprägt, und zeigten diese Thiere nicht die grosse Unruhe, welche die früheren so sehr charakterisirte. Weder kletterten sie von selbst auf dem Gitter des Käfigs, noch vermochten sie sich auf schiefer Ebene festzuhalten. Sie glitten oft rücklings herunter. Auf der Holztreppe mit Seitenwänden vermochten sie auch hinaufzukommen, und, da sie fortwährend Fluchtversuche machten, so kamen sie mehrmals ziemlich hoch hinauf.

Auf die Galtonpfeife zeigten sie keine Reaction.

An sämmtlichen Tanzmäusen habe ich am Tage, wo sie getödtet werden sollten, Blendungsversuche durch Verschluss der Augen mit Wattetampons und Collodium gemacht. Das Verhalten der Tiere war dabei sehr verschieden. Nur zwei Tanzmäuse der zweiten Gruppe zeigten das gleiche Verhalten wie die Tanzmäuse vom Jahre 1899. Sie führten dieselben heftigen Zwangsbewegungen um alle möglichen Achsen aus, schlugen dabei Purzelbäume nach vorne und nach hinten, schnellten mehrmals in die Höhe, überschlugen sich in der Luft und fielen dabei häufig auf den Rücken, führten Rollbewegungen aus u. s. w. (s. 5, S. 222). Sie gelangten nur zufällig zur Ruhe, wenn sie an eine Wand stiessen, stemmten sich dann mit dem Rücken an dieselbe und blieben einige Zeit unbeweglich.

Die dritte Maus dieser Gruppe (die vor mehreren Wochen bei einem Fluchtversuch ein Bein in das Gitter eingeklemmt hatte, und dabei eine Hinterpfote einbüsste, was sie übrigens, nach spontaner Heilung, nicht an der Ausführung des Solotanzes hinderte) zeigte ein abweichendes Verhalten bei der Blendung. Sie überkugelte auch mehrmals sofort nach der Blendung und führte einige Rollungen um die Längsachse aus, blieb aber dann unbeweglich liegen, meistens auf dem Rücken oder auf der einen Seite. Nur wenn sie von einer anderen Maus beim Laufen einen Stoss erhielt, verfiel sie wieder in Zwangsbewegungen.

Von der ersten Gruppe zeigten die beiden Mäuse, welche auf die Pfeife reagirten, ein ganz abweichendes Verhalten: sie liefen gleich nach der Blendung fort, als wäre nichts geschehen [1]), höchstens

---

Rumpf grösser zu sein und glichen kleinen Hämmerchen, die fortwährend in Bewegung sind.

1) Ein ähnliches Verhalten beobachtete ich im Jahre 1899 an zwei geblendeten albinotischen Mäusen.

zeigten sie ein gewisses Zögern beim Umkehren und Unsicherheit beim Anstossen an irgend einen Widerstand. Sie beruhigten sich meistens in letzterem Falle und blieben stehen.

Die beiden anderen (dunkleren) Tanzmäuse blieben zuerst unbeweglich, stemmten sich auf ihren Hintertheil und suchten mit den Vorderpfoten die Wattetampons loszureissen. Wenn sie dabei umfielen, führten sie einige Zwangsbewegungen aus. Nur beim schnellen Laufen traten die letzteren manchmal von Neuem auf, erreichten aber nie, weder die Heftigkeit, noch die Mannigfaltigkeit der Bewegungen der zweiten Gruppe.

Sämmtliche Thiere wurden etwa zehn Stunden nach der Blendung getödtet. In der Zwischenzeit trat keinerlei auffallende Veränderung in ihrem Verhalten ein.

3. Zusammenhang der physiologischen Beobachtungen mit den anatomischen Befunden.

In meiner ersten Mittheilung über die japanischen Tanzmäuse musste ich davon Abstand nehmen, meine physiologischen Beobachtungen mit den anatomischen Befunden von Rawitz in näheren Einklang zu bringen. Zwischen den Bewegungseigenthümlichkeiten seiner Mäuse und denen, die ich bei den meinigen wahrgenommen habe, zeigte sich zwar eine grosse Uebereinstimmung in den Hauptzügen. Dies berechtigte dennoch nicht, Sectionsbefunde der einen Thiere auf die Lebensphänomene der anderen, ohne Weiteres, zu übertragen.

Zeigte ja schon die erste Untersuchung von Rawitz, dass die Verbildungen des Ohrlabyrinths nicht bei allen seinen Thieren genau die nämlichen waren. Bei Gelegenheit eines Besuchs in Berlin, wobei Rawitz die Freundlichkeit hatte, mir seine Präparate zu demonstriren, konnte ich mich durch Augenschein von dieser Thatsache überzeugen. (Ich vermochte bei dieser Gelegenheit mich von der Vollkommenheit der plastischen Reconstruction nach der Modellirplattenmethode von Born zu überzeugen.) Daher begnügte ich mich, die wichtige von Rawitz festgestellte Thatsache, dass Tanzmäuse, die nur ein functionsfähiges Bogengangpaar besitzen, sich nur in einer Richtung des Raumes zu bewegen vermögen, in ihrer allgemeinen Bedeutung zu verwerthen. Jetzt liegen aber anatomische Untersuchungen von zwölf japanischen Tanzmäusen vor, von denen ich selbst sieben zu be-

obachten und auf ihre Bewegungseigenthümlichkeiten zu prüfen Gelegenheit hatte.

Der Versuch ist also jetzt berechtigt, diese Eigenthümlichkeiten mit den Verbildungen der Bogengänge in näheren Zusammenhang zu bringen.

Bei dem heutigen Stand unserer Kenntnisse über die Verrichtungen des Ohrlabyrinths muss dabei in erster Linie geprüft werden, inwiefern sich, zwischen den Ergebnissen der experimentelen Eingriffe an den einzelnen Bogengängen und den, an Tanzmäusen gemachten Beobachtungen, eine Uebereinstimmung feststellen liesse.

Rawitz hat seine Ergebnisse in der letzten Arbeit folgendermaassen resumirt:

„. . . . . Dass sich hochgradige Abweichungen von der Norm bei den Bogengängen finden und dass der obere noch am wenigsten von ihnen betroffen ist, ist ebenfalls überall zu constatiren. Aber die Grade der Veränderungen, die Art, wie die Verwachsungen zwischen den einzelnen Bogengängen aussehen und zwischen welchen Bogengängen sie vorkommen: darin zeigt sich eine beträchtliche Varietät . . . . Es ergibt sich daraus, dass die Hauptveränderungen am äusseren Bogengange stattgefunden haben; sie können von der einfachen Reduction in der Grösse bis zum völligen Verluste der Selbstständigkeit gehen. Man kann geradezu sagen, dass die Thiere, deren Bogengangapparat in Taf. I Fig. 2 abgebildet ist, in Wahrheit nur zwei Bogengänge besessen haben.“

Ich erinnere daran, dass diese Fig. 2 des Ohrlabyrinths von der einen Unterabtheilung der ersten Gruppe meiner Tanzmäuse herrührt (s. oben S. 428). „Der hintere Bogengang zeigt etwas weniger beträchtliche Veränderungen, doch sind diese immerhin auffällig genug, namentlich desswegen, weil er vielfach keine Ampulle hat“ (4, S. 175—176).

Die allen diesen Tanzmäusen gemeinschaftliche Bewegungsanomalie bestand in den kreis- oder halbkreisförmigen Drehungen in einer horizontalen Ebene um ihre eigene. oder um eine andere beliebige, verticale Achse. Ebenso allgemein, wenn auch in verschiedenen Graden, war die Unfähigkeit aller dieser Tanzmäuse, sich in gerader Linie vorwärts zu bewegen; sie liefen in Halbkreisen oder in diagonalen Richtungen, oder führten die bekannten zickzackförmigen Bewegungen aus.

Endlich, konnten einige dieser Tanzmäuse, und darunter die zwei, von denen die Fig. 2 der Taf. 1 herrührt, sich auch in verticaler

Richtung bewegen, thaten dies auch gerne, aber immer, ohne die gerade Linie einzuhalten.

Erinnern wir nun zum Vergleiche an die hauptsächlichsten Bewegungsstörungen, welche Verletzungen oder Durchschneidungen der einzelnen Bogengangpaare in meinen Versuchen zu erzeugen pflegten.

Um Missverständnissen vorzubeugen, soll hier erinnert werden, dass, in meinen Schriften ich mich bisher derselben Bezeichnungen der Canäle bedient habe, wie Flourens: horizontale, untere Verticale und obere oder vordere Verticale; Rawitz bedient sich der neueren Nomenclatur: äussere, hintere und obere Canäle. Die beiden Nomenclaturen sind rein anatomische und hatten auch ihre Berechtigung, so lange man die physiologische Bedeutung der eigenthümlichen Lagerung dieser Canäle nicht kannte. Jetzt müssen die Canäle, entsprechend ihrer gegenseitigen Lagerung in drei senkrecht zu einander stehenden Ebenen, als horizontale, verticale und sagittale bezeichnet werden. Das Entscheidende für die Verrichtungen der Bogengänge ist, nämlich, nicht ihre Lagerung in Bezug auf die Schädelachsen, — die übrigens nicht bei allen Wirbelthieren genau dieselbe ist, — sondern die Thatsache, dass sie ein rechtwinkliges Coordinatensystem mit einander bilden[1]).

Bei den bevorstehenden Citaten, sowie auch bei der folgenden Discussion werde ich daher nur die neuen, schon in der letzten Arbeit erläuterten Bezeichnungen (8, S. 577) gebrauchen.

Die Durchschneidung der beiden horizontalen Canäle ruft bei allen Thieren, an denen von mir experimentirt wurde, Tauben, Fröschen und Kaninchen, Bewegungen in der Ebene der durchtrennten Canäle, also um eine verticale Achse, hervor. Die Bewegungen erstrecken sich auf die Augäpfel, den Kopf und den Rumpf der Thiere. Sie sind aber bei den genannten Thierarten nicht mit derselben Intensität in den drei Körpertheilen ausgesprochen. Da die Tauben die am häufigsten für solche Versuche gebrauchten Thiere und auch am leichtesten dem Operiren an den einzelnen Bogengängen zugänglich sind, so wollen wir uns hauptsächlich an die an ihnen beobachteten Bewegungsstörungen halten.

1) Was deren Stellung zu den benachbarten Organen betrifft, so ist die zum äusseren Gehörorgan, sowie zu den beiden Augäpfeln schon viel wichtiger als zu den Achsen des knöchernen Schädels. Ich werde im nächsten Theil dieser Untersuchungen noch auf diese Verhältnisse näher zurückkommen.

Die Kopfbewegungen spielen bei den Tauben die Hauptrolle. Diese Bewegungen sind pendelartig und werden mit zunehmender Heftigkeit fortgesetzt, bis sich zu ihnen Körperbewegungen hinzugesellen, die in heftigen Manegebewegungen bestehen. Die Thiere laufen in Kreisen um eine imaginäre verticale Achse herum.

Bei Durchschneidungen der beiden vertikalen Canäle geschehen die Kopfbewegungen um eine transversale, statt um eine verticale Achse. Der Kopf wird von oben nach vorne und unten, und dann von vorne und unten nach oben und hinten geschleudert.

Die Bewegungen des Gesammtkörpers bestehen darin, dafs die Tauben Purzelbäume von vorne nach hinten um den Schwanz schlagen.

„Analysirt man diese Purzelbäume genauer, so überzeugt man sich leicht, dass sie in folgender Weise hervorgerufen werden. Der Körper der Taube wird von unten nach oben geschnellt, wobei er in eine fast verticale Stellung geräth, und gewissermaassen auf den Schwanz zu sitzen kommt; da aber zu gleicher Zeit die von unten nach oben erfolgenden Kopfbewegungen fortdauern, wird der ganze Körper nach hinten mitgerissen; die Taube vollendet meistens den Purzelbaum und fällt auf den Rücken. Wie man sieht, vollzieht sich die Hauptbewegung des Körpers in einer verticalen, dem hinteren Bogengang parallelen Ebene." (6, S. 302.)

Etwas complicirter erscheinen die Verhältnisse bei Durchschneidungen der beiden sagittalen Canäle.

„Sobald man diesen sagittalen Canal auf der einen (linken)[1]) Seite durchschneidet, führt die Taube eine oder zwei Kopfbewegungen aus, die von hinten und rechts nach vorne und links gerichtet sind oder vice versa; diese Bewegungen erinnern an die pendelnden Kopfbewegungen einherschreitender Tauben, nur erfolgen dieselben nicht in der geraden Richtung von hinten nach vorn, sondern in einer diagonalen Ebene. Die Durchschneidung des correspondirenden Canals der anderen Seite ruft die gleichen Kopfbewegungen hervor, jedoch in viel heftigerer und anhaltender Weise" . . . . (6, S. 301.)

Bekanntlich entspricht die Ebene des sagittalen (oberen) Bogengangs nicht der sagittalen Achse des Schädels; sie verläuft diagonal zu der Medianlinie von hinten nach vorne und nach aussen, — etwa in der Richtung des entsprechenden Augapfels.

---

1) Ich operirte die Tauben, die nur mit der linken Hand fixirt waren, frei mit der rechten Hand; daher kam es, dass in allen meinen Versuchen die linken Bogengänge zuerst durchschnitten wurden.

Dementsprechend sind auch die in der Ebene dieses Canals stattfindenden Kopfbewegungen ebenfalls diagonal gerichtet. Wenn nun auch der entsprechende Canal der anderen Seite durchgeschnitten wird, so finden die heftigen Kopfbewegungen abwechselnd in der Ebene des einen oder des anderen Canals statt, wobei die ∞-Bewegungen entstehen, von denen ich mehrmals gesprochen habe. „Der Körper hat die Neigung, nach vorne umzufallen; aber durch die heftigen Pendelbewegungen des Kopfes mit fortgerissen, schiesst er über das Ziel hinaus und schlägt häufig einen Purzelbaum um den Kopf" (6, S. 302).

Mit einem Worte, die nach Durchschneidung oder Zerstörung je zweier symmetrischer Bogengänge bei den Tauben auftretenden Kopf- und Körperbewegungen vollziehen sich in der Ebene der operirten Canäle. „Dieses Gesetz, schrieb ich, ist ein absolutes und gestattet keinerlei Ausnahme."

Schon Flourens hat in der classischen Beschreibung seines Versuchs hervorgehoben, dass die Richtung, in welcher die Bewegungen des durchschnittenen Canals stattfinden, identisch mit der dieses Bogengangs ist.

Die wenigen Experimentatoren, welche es nicht scheuten, an den einzelnen Bogengängen der Tauben zu operiren, haben die nämliche Gesetzmässigkeit der Kopf- und Körperbewegungen beobachtet (Curschmann, Spamer, Bornhardt u. A).

Die Versuche an Fröschen und an Kaninchen haben im Allgemeinen die Vollgültigkeit dieses Gesetzes auch für diese Thiere gezeigt. Beim Frosche sind die durch Verletzungen der einzelnen Bogengänge erzeugten Störungen besonders scharf in den Bewegungen des Rumpfes ausgeprägt. Die bekannte Kopfverdrehung kommt bei Verletzungen beliebiger Bogengänge vor (7, Kap. VII)[1]).

Beim Kaninchen ist die Gesetzmässigkeit, mit welcher die Bogengänge die Bewegungen beherrschen, darum von besonderer Wichtigkeit, dass bei befestigtem Kopf und Rumpf, sie sich in ganz evidenter Weise in den nystagmischen Bewegungen der Augäpfel ausdrückt. Diese Bewegungen werden ebenfalls in Ebenen ausgeführt, die genau durch die Wahl der gereizten Bogengänge bestimmt werden.

Bei der Uebertragung dieser experimentellen Erfahrungen auf

---

1) Die in aufrechter Stellung im Wasser walzirenden Frösche, welche Solucha und ich zu erzeugen pflegten, erinnern am meisten an die Drehungen der japanischen Tanzmäuse (siehe 6, S. 264 u. 283).

die Beobachtungen an den Tanzmäusen fällt sofort die eine volle Uebereinstimmung auf: Drehungen um verticale Achsen, Manegebewegungen in der horizontalen Ebene, pendelartige Schwingungen des Kopfes nach rechts und links werden künstlich durch Zerstörungen der horizontalen Bogengänge erzeugt. Die Tanzmäuse, bei denen die gleichen Bewegungen vorherrschend sind, zeigen nach den Befunden von Rawitz ihre Hauptverkrüppelungen eben an den Horizontalcanälen, — Verkrüppelungen, die „bis zum völligen Verluste ihrer Selbstständigkeit gehen".

Die angeborenen pathologischen Verbildungen des Ohrlabyrints, unbekannten Ursprungs, welche die constanteste und wichtigste Reihe der eigenthümlichen Bewegungen der Tanzmäuse erzeugen, wirken also genau nach dem physiologischen Gesetz, das ich, auf Grundlage zahlreicher experimenteller Untersuchungen, im Jahre 1878 abgeleitet habe.

Abgesehen von der Bedeutung dieser thatsächlichen Bestätigung einer der Grundlagen meiner Lehre von den Verrichtungen der Bogengänge, sind diese anatomischen Befunde noch von grossem Interesse für das Verständniss des inneren Mechanismus dieser Verrichtungen. Sie zeigen, dass die hauptsächlichsten Bewegungen der Tanzmäuse — sowohl die willkürlichen als die gezwungenen — in der Ebene des am meisten verkrüppelten, des fast völlig abwesenden Bogengangpaares geschehen. Mit anderen Worten, dass deren Richtungen durch die Functionsunfähigkeit derjenigen Bogengänge erzeugt werden, deren normale Function darin besteht, die Bewegungen in diesen Richtungen zu bestimmen und zu reguliren.

Bei oberflächlicher Betrachtung könnte man versucht sein, einen Widerspruch darin zu finden, dass die Thiere gezwungen sind, sich in der Richtung des abwesenden Bogengangs zu bewegen. Thatsächlich besteht aber keiner; haben ja sämmtliche experimentelle Ergebnisse an den Bogengängen zur Evidenz gezeigt, dass es die Zerstörung oder die Durchschneidung der Bogengänge ist, welche die heftigen und anhaltenden Zwangsbewegungen in der Richtung ihrer Ebene veranlassen, dass es also der Ausfall ihrer Functionen ist, das, wie Curschmann zuerst sich ausdrückte,

dieses Phänomen erzeugt. Die künstliche Erregung der Bogengänge ruft nur einzelne Bewegungen[1]) und zwar in derselben Ebene hervor, aber in entgegengesetztem Sinne der Richtung[2]). Nur weil die Durchschneidung eines Bogenganges im Beginne eine solche Erregung zu erzeugen pflegt, machte es so lange Schwierigkeiten, die wahre Natur der Flourens'schen Versuche richtig zu erkennen.

Schon bei Gelegenheit meiner ersten Untersuchungen über das Ohrlabyrinth wurde ich auf die hemmenden Einflüsse, die die Bogengangerregungen auf die Auslösung von Bewegungen ausüben, aufmerksam gemacht. Dadurch vermochte ich allmählich zu einer richtigen Auffassung des Mechanismus der Labyrinthfunctionen zu gelangen. In meinen letzteren Arbeiten (7, 5 und 8) habe ich auch mehrmals darauf hingewiesen, dass schon Flourens die richtige Art und Weise geahnt hat, wie die Bogengänge die Bewegungsrichtungen beherrschen, und dass insbesondere Chevreul klar diese Auffassung vertreten hat: „. . . il faut les considerer (les canaux) non comme des organes qui produisent les phénomènes en question, mais comme des organes qui les empêchent, au contraire, de se manifester".

Der Mechanismus dieser hemmenden Einflüsse wurde in meiner Arbeit „Ohrlabyrinth, Raumsinn und Orientirung" (5) auf den S. 225—228 und 286 u. f. ausführlicher auseinandergesetzt. Es wäre überflüssig, hier darauf nochmals zurückzukommen. . . . „Die Wirkungen solcher Reize, welche die Hemmungen beseitigen, könnte man sich vorstellen etwa wie eine plötzliche Ausschaltung von Widerständen in einem Rheochord durch Bildung einer Nebenschliessung. Die Richtung, in welcher die ausgelöste Bewegung stattfindet, wird durch die Natur des Bogenganges bestimmt, dessen hemmende Wirkungen beseitigt werden" (5, S. 288).

Die künstlich erzeugte Abwesenheit der hemmenden Wirkungen des einen Bogengangpaares bei Thieren, deren zwei übrigen Bogengangpaare intact geblieben seien, genügt, um Tage, ja Wochen lang, die Thiere zu zwingen, sich nur in der

---

1) Hält diese Erregung längere Zeit an, wie in meinen Versuchen über den Einfluss der Bogengangreizung auf die Augenbewegungen (6, S. 265), so erhalten die Bewegungen einen tetanischen oder klonischen Charakter, hören aber immer mit der Reizung auf.

2) Siehe 8, S. 583.

Ebene dieses zerstörten Bogengangpaares zu bewegen, etwa wie die Bildung einer Nebenschliessung von geringem Widerstande, oder wie die plötzliche Ausschaltung stärkerer Widerstände, die elektrischen Ströme von den übrigen Leitern ablenken, und sie zwingen, die Wege des geringsten Widerstands einzuschlagen.

Bei den Tanzmäusen sind nun die Verhältnisse nicht ganz so einfach. Ihre zwei anderen Bogengangpaare sind meistens nicht normal. Dem Anscheine nach ist nur das sagittale Bogengangpaar annähernd gut erhalten. Das Verticale ist häufig stark verbildet, und nur ausnahmsweise, wie in der Fig. 2, noch sichtlich functionsfähig. In der einen Untergruppe meiner Tanzmäuse fand Rawitz sogar eine vollständige Abwesenheit der Ampulle und der Crista der verticalen Canäle (4, S. 113, Taf. I Fig. 1).

Die anomalen Verwachsungen der knöchernen und häutigen Canäle untereinander, sowie die Abweichungen von ihrer normalen Lagerung[1]) könnten schon genügen, um ein normales Functioniren der übrigen vier Bogengänge zu vereiteln.

Die völlige Verkrüppelung der horizontalen Bogengangpaare bei den Tanzmäusen vermag dennoch die vom Willen ausgelösten, oder von anderen Quellen herstammenden Reize zu zwingen, die Nervenbahnen, die von den erhaltenen Bogengängen beherrscht werden, zu vermeiden, wo die hemmenden Widerstände noch zu stark zu sein scheinen.

Die anderen Eigenthümlichkeiten der Bewegungen bei den Tanzmäusen äussern sich durch die Vorwärtsbewegung in Halbkreisen oder in Diagonalen, und in der Unmöglichkeit, die gerade Richtung einzuhalten. Rührten diese Eigenthümlichkeiten ebenfalls von der Abwesenheit der horizontalen Bogengänge her, also von der Verirrung der Willensimpulse auf die Nervenbahnen, die die Bewegungen nach rechts oder nach links beherrschen, — wie dies etwa bei den Kopfnystagmus der operirten Thiere der Fall ist, — oder hängt das Laufen in Halbkreisen von anderen Gründen ab?

Berücksichtigt man die Thatsache, dass es sich dabei nur um willkürliche Bewegungen handelt, und erwägt man die Erklärung, die ich von dem Ursprung der Vorstellung von der geraden Linie gegeben habe (siehe 8), so muss man der letzteren Alternative

1) Es ist von Rawitz die interessante Thatsache constatirt worden, dass diese Abweichungen in Winkeln von 45° oder 90° geschehen.

den Vorzug geben. Das harmonische Zusammenwirken des Ohrlabyrinths mit dem Gesichtsorgan, welches die Kenntniss der geraden Linie bedingt, — muss ja bei diesen Thieren gestört sein, und zwar nicht nur allein in Folge der Verkrüppelung der Bogengänge, — sondern auch, wegen der höchst wahrscheinlichen Veränderungen in den Fasern der Vestibularnerven und in den centralen Gebilden, welche sie mit Fasern des oculomotorischen Nerven verbinden.

Das „Winden" der Thiere dient ihnen eben dazu, um sich besser zu orientiren, wenigstens, um den geradesten oder den kürzesten Weg leichter finden zu können.

Die Ebenen der sagittalen Bogengänge sind bekanntlich nicht zu einander parallel. Sie bilden in ihrer Verlängerung nach hinten einen Winkel, den die sagittale Achse des Schädels schneidet.

Damit die Vorwärtsbewegung in gerader Richtung möglich sei, ist auch eine gewisse Congruenz der in den beiden entsprechenden Ampullen dieser Bogengänge stattfindenden Erregungen erforderlich.

Wird nun eine derartige Verschmelzung irgendwie gestört, so muss das Thier bei der willkürlichen Vorwärtsbewegung abwechselnd in der Richtung des einen oder des anderen Bogengangs laufen. In dieser Weise könnten die Zickzackbewegungen und das Vorwärtslaufen der Tanzmäuse in diagonaler Richtung also ganz befriedigend erklärt werden.

Zu Gunsten eines solchen Ursprungs des Vorwärtslaufens in diagonaler Richtung scheint auch die Thatsache zu sprechen, dass die Tanzmäuse der ersten Gruppe, bei denen die Zickzackbewegungen des Kopfes nur sehr schwach ausgedrückt waren, meistens sich nur in diagonaler Richtung bewegten. Auch beim Klettern an dem Käfiggitter folgten sie nie der geraden verticalen Richtung; ihre Körperstellung war immer etwas schief zur Verticale.

---

1) Alexander und Kreidl (8) vermutheten ganz mit Unrecht ihre Versuche, die Tanzmäuse in einem Gang laufen zu lassen, widersprächen meiner Auffassung des Zickzacklaufens. Nun habe ich schon ja dasselbe beobachtet (5, S. 219). Die Tanzmäuse können auch an einer Wand entlang geradeaus laufen; natürlich wird dies ihnen noch viel leichter sein, wenn sie zwischen zwei Wänden laufen, die in ihrem Gesichtskreis liegen, besonders wenn sie einer Gefahr zu entlaufen suchen. Den Thieren fehlt eben nicht die Fähigkeit, die nöthigen Muskeln zum Geradelaufen zu coordiniren, sondern die Möglichkeit, die gerade Richtung zu erkennen.

Viel schwieriger ist es, die Befunde von Rawitz bei der zweiten Untergruppe der ersten Reihe (Fig. 1) mit der Fähigkeit der betreffenden Tanzmäuse, sich ziemlich gut in der verticalen Richtung zu bewegen, in Zusammenhang zu bringen.

Die Schwierigkeit wird noch verstärkt dadurch, dass durch die Vermischung der vier Köpfe bei deren Versendung nach Berlin, es unmöglich war, festzustellen, ob die Fig. 2, — d. h. die anscheinend functionsfähig erhaltenen verticalen Bogengänge, — sich auf das viel hellere Paar der Tanzmäuse bezieht, welches der Galtonpfeife so gerne zuhörte. Wahrscheinlich ist es schon, dass diese Mäuse, welche sich ihrem Habitus nach den albinotischen am meisten näherten, auch, dank dem ziemlich gut erhaltenen verticalen Bogengang, die Möglichkeit hatten, bei Willensimpulsen die verticale Richtung einzuschlagen.

Insofern hätte sich also an diesem Paar meine am 7. August 1900 gemachte Voraussetzung jedenfalls bestätigt (siehe oben S. 428).

Wie aber ist es mit der Untergruppe, wo die Ampullen der verticalen Bogengänge ganz zu fehlen schienen, und die Mäuse sich dennoch aufwärts zu bewegen vermochten? Zwischen den Befunden der Fig. 1 und 2 besteht ein Gegensatz, der sich sehr schwer erklären lässt. Möglich, dass mir einige Eigenthümlichkeiten ihrer Verticalbewegungen entgangen sind.

Man darf übrigens auch keine zu vollkommene Uebereinstimmung zwischen den Folgen genau begrenzter Zerstörungen der Bogengänge und den Erscheinungen erwarten, die bei angeborenen pathologischen Verbildungen derselben beobachtet werden. Schon darum nicht, weil ja bei den Tanzmäusen sicherlich auch die Stämme und die Centralorgane des Raumnerven sich nicht in normalem Zustand befinden können.

Es darf schon als ein im hohen Grade befriedigendes Ergebniss erscheinen, dass in den Hauptzügen so viele Uebereinstimmungen zwischen den Bewegungsanomalien der so verschiedenen Thiere, mit solcher Evidenz, nachgewiesen werden konnten.

Noch auf eine Uebereinstimmung will ich aufmerksam machen, die bei meiner ersten Mittheilung über die japanischen Tanzmäuse mir entgangen war. Es handelt sich um die so gewaltigen Bewegungsstörungen, die bei der plötzlichen Blendung der Thiere beobachtet werden, und die ich bei zwei Mäusen der zweiten

Gruppe ebenfalls in derselben Form auftreten sah. „Das Thier lieferte", schrieb ich, „das bekannte Bild der Tauben oder Frösche, denen man auf beiden Seiten plötzlich sämmtliche Bogengänge zerstört" (5, S. 224). Um sich davon zu überzeugen, genügt es, das Bild, das ich in der Arbeit vom Jahre 1878 (6, S. 302) von den Thieren entworfen habe, denen sämmtliche Bogengänge gleichzeitig zerstört wurden, zu analysiren.

Es ist mir bei den Blendungsversuchen an den Tanzmäusen ganz aus dem Gedächtniss entfallen, dass ich schon früher Blendungsversuche an Tauben mit zerstörten sechs Bogengängen ausgeführt habe, die absolut das gleiche Resultat ergeben haben, wie die Blendung der Tanzmäuse.

Nachdem ich in der citirten Arbeit die Erscheinungen beschrieben habe, die 5—10 Tage nach der Operation auftreten, als die Taube sich zu erholen anfängt und das Gehen von Neuem zu erlernen sucht, sagte ich: „Während dieses Erlernens bedarf die Taube der Mitwirkung ihrer übrigen Sinnesorgane, besonders des Sehorgans."

„Die Bedeckung der Augen mittelst einer kleinen, der Taube über den Kopf gezogenen Capuze genügte, um sie augenblicklich alle noch so unreifen Erziehungsfrüchte einbüssen zu lassen: sie verfällt wieder in den Zustand, in welchem sie sich die ersten Tage nach der Operation befand" (S. 303), d. h. also, die heftigen und so charakteristischen Zwangsbewegungen treten von Neuem auf.

4. Analogien und Gegensätze zwischen den Bewegungen der Tanzmäuse und denen der Neunaugen.

Die grossen Analogien, welche sich zwischen den beobachteten Bewegungserscheinungen bei Tanzmäusen und denen bei frisch an dem Labyrinth operirten Thieren herausgestellt haben, sprechen in ganz zwingender Weise zu Gunsten des pathologisch-traumatischen Ursprungs der Verbildungen, die Rawitz bei den Tanzmäusen beschrieben hat. Wie dieser Forscher mit Recht hervorgehoben hat, spricht auch die grosse Variabilität in dem Grade der Verbildungen dafür, dass man es hier mit Krankheitsbildern zu thun hat.

Die japanischen Tanzmäuse können daher jetzt nicht mehr als eine natürliche Mäusevarietät betrachtet werden, wie man dies vor

den letzten anatomischen Untersuchungen von Rawitz anzunehmen geneigt war. Die Analogie mit den Neunaugen, die von Natur aus nur zwei Bogengangpaare besitzen, auf welche ich in meiner ersten Untersuchung über die japanischen Tanzmäuse hingewiesen habe, ist also in der Wirklichkeit eine ziemlich beschränkte. Es ist schon ganz richtig, dass die Neunaugen mit nur zwei Bogengangpaaren sich nur in zwei Richtungen des Raumes zu bewegen vermögen, sowie dass Tanzmäuse, die nur ein Bogengangpaar in annähernd functionsfähigem Zustande besitzen, sich in einer Richtung bewegen. Es ist ferner richtig, dass die einen wie die anderen Thiere nicht im Stande sind, die gerade Richtung einzuhalten.

Die Analogie hört aber auf, sobald man den Mechanismus zu zergliedern sucht, durch welchen die geringe Zahl der Bogengänge die Richtungen einschränkt, in denen die Thiere sich bewegen können. Die Neunaugen vermögen sich nur in zwei Richtungen des Raumes zu bewegen, weil sie normaler Weise nur im Besitze von zwei Bogengangpaaren sind, also nur zwei Richtungen kennen [1]). Die Tanzmaus dagegen ist gezwungen, bei voller Verkrüppelung ihrer horizontalen

---

1) Bei meinen Versuchen an Neunaugen im Jahre 1877 besass ich nur eine beschränkte Zahl dieser Thiere und war gezwungen, als Aquarium, meine Badewanne zu benutzen. Die Bestimmung der beiden Bewegungsrichtungen, deren die Neunaugen fähig sind, konnte nur in engen Grenzen geschehen. So entging mir das plötzliche Sinken der Thiere zum Boden, wenn sie keinen Halt haben, d. h. ihre Unfähigkeit sich in der Höhe zu erhalten. Diese Erscheinung wurde zuerst von J. Steiner (11) beobachtet. Er schreibt diese Unfähigkeit dem Mangel der beiden Flösse zu, was, wie ich schon anderweitig hervorgehoben habe, nicht im Geringsten die Möglichkeit ausschliesst, dass die beschränkte Zahl ihrer Bogengänge dabei dennoch bestimmend ist (7, S. 95). Sind die Neunaugen im Stande, von selbst sich vom Boden nach aufwärts zu bewegen? Von der Entscheidung dieser Frage wird die Möglichkeit abhängen, die physiologische Bestimmung ihrer vorhandenen Bogengänge genauer festzustellen, als dies bis jetzt geschah. Retzius hat aus anatomischen Gründen die Gänge als Canalis semicircularis anterior s. sagittalis und als C. semic. posterior s. frontalis aufgefasst. Auf Grund der Bewegungsstörungen nach der Durchschneidung dieser beiden Canäle habe ich die Vermuthung ausgesprochen, dieselben entsprächen eher den sagittalen und horizontalen Bogengängen. Sollte sich bestätigen, dass die Neunaugen die Fähigkeit nach oben sich zu bewegen nicht besitzen, so würde dies zu Gunsten meiner Anschauung entscheiden, nämlich, dass die fehlenden Canäle die verticalen (hinteren) sind. Erneuerte physiologische Beobachtungen werden allein über die anatomische Natur dieser Bogengänge entscheiden können.

Bogengänge sich vorzugsweise in der Ebene dieses functionsunfähigen Bogengangpaares zu bewegen, weil durch den Ausfall der Hemmungen, die normal von diesem Canalpaar ausgingen, die Willensimpulse sich vorzugsweise in den Nervenbahnen, die von ihm beherrscht wurden, verbreiten müssen.

Der Unterschied ist also im Grunde viel wesentlicher, als es auf den ersten Blick erscheinen mag. Bei den Neunaugen functioniren also jedenfalls die beiden Bogengangpaare ganz in derselben Weise, wie dies bei den Wirbelthieren mit drei Bogengängen der Fall ist. Nur sind die centralen Organe sowohl als die Leitungsbahnen und Verbindungen zwischen den vestibular- und den oculomotorischen Nerven beim Petromyzon auf ein Zweibogensystem eingerichtet. Als Thiere mit einem Bogengangpaare, deren Bewegungsanomalien ihrem inneren Mechanismus nach, mit denen der Neunaugen als analog betrachtet werden könnten, dürfen nur die Myxine gelten. Leider besitzen wir, meines Wissens, bis jetzt keinerlei Angaben über die Bewegungen dieser Thiere.

5. Die Bedeutung der Beobachtungen an den Tanzmäusen für die Physiologie des Raumsinns.

In seiner letzten Schrift (4, S. 172) sagt Rawitz: „Durch die in dieser Arbeit mitgetheilten anatomischen Thatsachen erledigen sich von selbst die Experimente, Kritiken und Zweifel in den Artikeln der Herren Alexander und Kreidl und des Herrn Panse. Auf die Publicationen dieser Autoren näher einzugehen ist daher unnöthig."

Die hier mitgetheilten physiologischen Beobachtungen und Experimente, ausgeführt im Sommer 1900, zeigen, dass die, später von mehreren Seiten veröffentlichten Abweichungen, in dem Verhalten der japanischen Tanzmäuse von dem früher beschriebenen, keineswegs für mich überraschend waren. Auch haben Alexander und Kreidl keine neuen Thatsachen bekannt gemacht, die irgendwie gegen die Deutung gesprochen hätten, die ich in meiner betreffenden Arbeit für die Bewegungsanomalien der Tanzmäuse gegeben habe.

Der in den vorangehenden Abschnitten dargelegte Zusammenhang zwischen den physiologischen Thatsachen und den bei denselben Thieren constatirten anatomischen Befunden kann darüber keinerlei Zweifel lassen. Es sollen aber hier einige Worte über die wahre

Bedeutung der an den Tanzmäusen gemachten Beobachtungen für meine Lehre von dem Raumsinn gesagt werden.

Nur ein volles Missverständniss der thatsächlichen Verhältnisse konnte bei den soeben citirten Autoren die Hoffnung aufkommen lassen, meine Raumtheorie würde umgestürzt werden, wenn es ihnen gelingen sollte, bei den japanischen Tanzmäusen ein normales Ohrlabyrinth nachzuweisen.

Meine Lehre von den Verrichtungen des Ohrlabyrinths als Sinnesorgans für die Orientirung und für die Vorstellungen des dreidimensionalen Raumes ist nach unzähligen Versuchsreihen, die mehrere Jahre dauerten, schon im Jahre 1878 auf unerschütterlichen Grundlagen errichtet und entwickelt worden. Die seitdem von mir und von anderen Forschern ausgeführten Untersuchungen haben zahlreiche und werthvolle Bestätigungen für die Richtigkeit meiner Lehre geliefert. Sogar die jahrelangen Auseinandersetzungen mit den Gegnern meiner Lehre, und Vertretern der Goltz-Mach-Breuer'schen Hypothesen, sind für die Physiologie des Raumsinns nicht unfruchtbar geblieben. Sie haben mehrere meiner früheren Ansichten durch die erforderlichen Kontrolversuche präcisirt und erweitert. Auch haben sie mir erlaubt, einige nebensächliche Details meiner Lehre zu corrigiren.

Die schöne Entdeckung von Rawitz, dass Verbildungen des Gehörorgans, sowohl der Schnecke als des Ohrlabyrinths, bei den japanischen Tanzmäusen bestehen, sowie seine Beobachtungen ihrer Bewegungsanomalien lieferten einen neuen Beweis der Richtigkeit meiner Raumsinntheorie, der um so werthvoller war, als dieser Forscher auch die richtige Bedeutung seiner Entdeckung begriffen hat. Er erklärte die eigenthümlichen Bewegungen der Tanzmäuse, als entstanden durch den Verlust ihrer Orientirungsfähigkeit, und die ganz ungewöhnliche Geschwindigkeit und Sicherheit, mit der sie die sehr complicirten Tänze ausführen, als eine Widerlegung der, übrigens von ernsten Forschern längst aufgegebenen Ansicht, das Ohrlabyrinth diene zur Unterhaltung des Gleichgewichts.

Es wäre aber ein ganz sonderbarer Irrthum, zu glauben, dass, wenn Rawitz bei den Tanzmäusen einen normalen Bogengangapparat gefunden hätte, dies irgend etwas gegen die Richtigkeit meiner Lehre ausgesagt hätte. Führen ja auch Shakers, tanzende Derwische und Mitglieder anderer religiöser Secten ebenfalls mit rasender

Heftigkeit verschiedene Tänze aus, bei denen Drehungen um ihre verticale Achse die Hauptrolle spielten. Man sieht ja auch sonst normale Personen Nächte hindurch tanzen und ganz wie die japanischen Mäuse walziren, ohne ihrem Ohrlabyrinth etwas nachsagen zu können.

Ein negatives Ergebniss der Rawitz'schen anatomischen Untersuchungen des Ohrlabyrinths der Tanzmäuse würde nur darauf hingewiesen haben, dass bei diesen Thieren irgend welche pathologische Veränderungen im Kleinhirn oder in anderen Hirntheilen vorhanden sind, die sie zwingen, sich nur in Kreisen oder in diagonaler Richtung zu bewegen.

Meine Lehre vom Raumsinn wäre dabei um einen schönen und besonders einen leicht demonstrirbaren Beweis ärmer gewesen. Sie besitzt aber deren eine so reichliche und so überzeugende Menge, dass ihre Grundlagen darum nicht um ein Haar weniger fest geblieben wären.

Der Werth der Tanzmäuse zur Demonstration der Verrichtungen des Ohrlabyrinths ist aber, wie die Sachen jetzt stehen, nicht hoch genug anzuschlagen. Wenn es jahrelanger, mühseliger Kämpfe bedurfte, um die so klare und augenscheinliche Bedeutung des Bogengangapparates als Organs für die Orientirung im Raume in der Physiologie durchdringen zu lassen, so lag dies zum grossen Theil daran, dass viele meiner Gegner sich nicht die Mühe geben wollten, an den einzelnen Bogengängen gesondert zu operiren. Die einen zogen es vor, die Verrichtungen des Ohrlabyrinths rein methaphysisch aus der Missdeutung der bekannten Täuschung, bei dem Durchfahren der Eisenbahncurven, abzuleiten. Die anderen, die auf ihre angeblich verbesserte Methode besonders stolz waren, begnügten sich mit der rohen Zerstörung der ganzen Occipitalgegend sammt Ohrlabyrinth durch glühendes Eisen oder durch ähnliche rohe Eingriffe.

„Wem es nicht gelingen will, bei Tauben, Fröschen und Kaninchen durch sorgfältiges Operiren an den einzelnen Bogengängen genau die für jeden derselben charakteristischen Bewegungen hervorzurufen, der wird besser thun, von dem Experimentiren an den Bogengängen ganz Abstand zu nehmen," schrieb ich im Jahre 1887 (6, Einleitung).

In den japanischen Tanzmäusen besitzen jetzt die Physiologen Versuchsthiere, an denen sie ohne jeden operativen Eingriff die Hauptzüge der Bogengangfunctionen demonstriren und mit Hülfe

der Tafeln von Rawitz auch erläutern können. Denn für jeden Beobachter, der überhaupt im Stande ist, beobachtete Erscheinungen zu verstehen, kann bei einer solchen Demonstration kein Zweifel mehr bestehen, dass das Ohrlabyrinth keinesfalls ein Organ für die Erhaltung des Gleichgewichts sein könne. In den peinlichsten Stellungen vermögen Tanzmäuse das Gleichgewicht vollkommen zu erhalten und auch gewisse, sehr complicirte Bewegungen führen sie mit Geschick und Grazie aus[1]).

Zu einem analogen Schluss ist auch Zoth bei seiner längeren Untersuchung gelangt[2]). Auch hat er in sehr einfacher Weise gezeigt, dass Alexander und Kreidl mit Unrecht aus dem Versuch mit dem Laufen der Mäuse auf einem schmalen „Steg" aus Blech, der hoch in der Luft stand, den entgegengesetzten Schluss gezogen haben, d. h. zu Ungunsten ihres Gleichgewichtsvermögens. Diese Autoren verwechselten Seiltanzen mit dem Gleichgewichtsvermögen, die eben verschiedene Dinge sind. Es genügte Zoth, den Steg mit rauhem Tuch zu überziehen, damit die Tanzmäuse auf demselben sogar balanciren konnten. Die Momentanaufnahmen Zoth's lassen darüber keinen Zweifel übrig.

Gegen zwei Punkte der sorgfältigen Untersuchungen von O. Zoth muss ich Einspruch erheben. In meinen Versuchen vom Jahre 1899 habe ich beobachtet, dass die Tanzmäuse, die es nicht vermochten, sich auf der schiefen Ebene eines rauhen Holzbretts[3]) zu halten, wenn das Zimmer beleuchtet war, in der Dunkelheit sogar im Stande waren, von selbst auf das Brett hinaufzuklettern. Nur beim Eindringen von Licht glitten sie sofort herunter. Dies kann doch unmöglich daher rühren, dass die Oberfläche des Brettes ihnen keinen genügenden Halt geboten

1) Siehe 5, S. 217.

2) Meine Mittheilung vom 7. August 1900 (1) ist Zoth entgangen; er glaubte daher, dass seine Beobachtungen im Widerspruche mit den meinigen standen. Er erklärte es für unwahrscheinlich, „dass es Tanzmäuse verschiedener Art gibt, und dass meine und Cyon's Thiere solche Abarten sind" (S. 175). Wie ich aus seiner freundlichen Zuschrift erfahre, hat dieser Passus vor der letzten Correctur ganz richtig gelautet: „Möglicher Weise gibt es auch Tanzmäuse verschiedener Art, und sind Cyon's und meine Thiere solche verschiedener Arten gewesen".

3) Es wurde zu diesen Versuchen der Deckel einer gewöhnlichen Packkiste verwendet.

hat. Der Einfluss des Lichts war hier also unzweifelhaft. Ueber die nähere Natur dieses Einflusses bin ich auch jetzt nicht im Stande, eine befriedigende Erklärung zu finden.

Auch vermag ich O. Zoth nicht beizustimmen, wenn er behauptet, dass die Muskelkraft der Tanzmäuse abnorm gering sei. Thiere, die 10 bis 12 Stunden täglich sich mit so rasender Heftigkeit dem Walzer ergeben können, wobei sie manchmal bis zu 150 Touren in der Minute um ihre verticale Achse ausführen, müssen im Gegentheil über eine grosse Muskelkraft verfügen. Dass sie auf „plötzliches Anblasen" keinen Widerstand leisten oder dem Zuge am Schwanze leicht nachgeben, kann wohl an anderen Ursachen liegen. Messende Vergleiche dieses Zuges mit dem bei anderen Thieren sind auch wenig überzeugend; schon wegen der bedeutenden Ermüdung der Tanzmäuse nach ihrem wüsten Tanzen.

Die ganz ausserordentlichen Mengen von Futter, welche diese Thiere täglich verzehren, deuten schon darauf hin, welchen Verbrauch von Muskelkräften ihr Tanzen erheischt.

Ich habe schon anderswo gezeigt, dass Ewald ganz mit Unrecht die Abnahme der Muskelkraft nach der Zerstörung des Ohrlabyrinths als Beweis ansehen wollte, das Ohrlabyrinth unterhalte die gesammte Muskulatur des Körpers in tonischer Erregung: diese Abnahme rührt theils von der Erschöpfung des Muskelsystems, durch die wochenlang anhaltenden Zwangsbewegungen her, theils von dem Verlust der Fähigkeit, die Innervationsstärken bei gewollten Bewegungen ihrem Zwecke gemäss zu reguliren und zu vertheilen.

Es stimmen wohl jetzt alle überhaupt in Betracht kommenden Forscher darin überein, dass das Ohrlabyrinth mit den Bogengängen bei den Wirbelthieren, oder mit den Otocysten allein bei den wirbellosen Thieren (Yves Delage), zur Orientirung im äusseren Raume oder, präciser ausgedrückt, in den drei uns allein bekannten Richtungen des Raumes dienen. Diese Orientirung geschieht nachweislich mit Hülfe von drei specifischen Richtungsempfindungen, die durch äussere Reize in den Nervenendigungen eines im Schädel gelegenen Organs entstehen, und durch centripetale Nervenbahnen direct bestimmten Hirncentren zugeleitet werden. Es kann also darüber kein Zweifel mehr aufkommen, dass das Ohrlabyrinth ein Sinnesorgan für Richtungs- und Raumempfindungen ist.

In dem folgenden Theil dieser Beiträge, der den Täuschungen dieses Sinnesorgans gewidmet wird, werden zahlreiche experimentelle

Aufklärungen sowohl über den intimen Mechanismus seiner Verrichtungen, als über die Natur der Erregungen des N. spatialis gegeben werden.

Anhang.

Nach dem Abschluss dieser Mittheilung erhielt ich die beiden Publicationen von Alexander und Kreidl: „Anatomisch-physiologische Studien über das Ohrlabyrinth der Tanzmaus" (dieses Arch. Bd. 88).

Nur der anatomische Theil, dessen Verfasser Dr. Alexander ist, bietet für uns einiges Interesse. Das allgemeine Resultat seiner anatomischen Untersuchungen drückt Alexander mit folgenden Worten aus: „Atrophien der Aeste, Ganglien, Wurzeln der gesammten achten (sic) Hörnerven; Atrophie und Degeneration der Pars inferior Labyrinthi, insbesondere ihrer Nervenendstellen" (S. 535).

Nachdem von Rawitz die Verkrüppelung des Gehörorgans dieser Thiere nachgewiesen wurde, war im Allgemeinen ein ähnliches Verhalten des Nervensystems vorauszusehen (siehe S. 442). Man hätte daher auch die Detailangaben von Alexander mit Zutrauen aufnehmen können, wenn er nicht am Schluss die folgende ganz aus der Luft gegriffene Behauptung aufgestellt hätte, „dass die Gestalt der häutigen Theile nicht bloss in der auch im Uebrigen normalen Pars superior, sondern auch in der Pars inferior, die ja schwere Gewebsveränderungen aufweist, vollständig normal erhalten ist" (S. 533).

Ueber die Gestalt der Bogengänge so kleiner Thiere wie die Tanzmäuse kann man nur mit Hülfe der plastischen Reconstruction Auskunft erhalten, wie sie Rawitz mittelst der Born'schen Plattenmodellmethode ausgeführt hat. Alexander erklärt aber (S. 573), von der Anwendung eines Reconstructionsverfahrens Abstand genommen zu haben. Er hat seinen Schluss über die Gestalt der Bogengänge nur auf Grund eines Vergleiches einiger „Schnittebenen", die er von den Tanzmäusen erhalten hat, mit denen „einer normalen Mausserie" abgeleitet (s. Anmerk. auf S. 573).

Dass Alexander und Kreidl von der Anwendung der, zwar allein zuverlässigen, aber auch schwierigen und viel Sorgfalt erfordernden Reconstructionsmethode Abstand genommen haben, darf nicht Wunder nehmen. Unverzeihlich ist es aber, dem Leser zuzu-

muthen, dass er in einer so wichtigen Frage, besonders gegenüber den unzweifelhaften positiven Ergebnissen der vorzüglichen Untersuchungen von Rawitz, einer Behauptung dieser Verfasser irgend welchen Glauben schenken wird, die sie, ihrem eigenen Geständnisse nach, nur auf's Gerathewohl hingestellt haben! Sie konnten damit nur erzielen, dass auch ihren übrigen anatomischen Angaben mit berechtigtem Misstrauen begegnet wird.

Der Zweck einer so sonderbaren Schlussfolgerung ist nicht schwer zu erkennen. Schon aus der ersten Mittheilung dieser Autoren war ersichtlich, dass sie ihre Beobachtungen in dem falschen Wahn unternommen haben, dass, wenn es ihnen gelingen sollte, ein normales Ohrlabyrinth bei den Tanzmäusen zu finden, sie dadurch meine Lehre in ihrer Rolle als Sinnesorgan für unsere Orientirung im Raume umstürzen würden. Es wurde schon oben (S. 446 u. ff.) gezeigt, dass eine solche Hoffnung nur auf dem vollen Verkennen meiner Lehre und ihrer zeitlichen Entwicklung beruhen konnte. Alexander mag den Abschnitt 5 nachlesen; er wird dann erkennen, dass es wahrlich nicht der Mühe werth war, seine anatomische Untersuchung durch eine derartige, um mich milde auszudrücken, gewagte Behauptung blosszustellen. Vielleicht wird es ihm dabei auch klar, dass die Veränderungen der „Aeste, Ganglien, Wurzeln der gesammten achten Hörnerven", die er selbst als vorhanden zugestehen musste, schon genügen, um den Schluss von Rawitz und mir zu berechtigen, dass den Tanzmäusen eben in Folge dieser Veränderungen das Orientirungsvermögen fehle. Die Bedeutung des Ohrlabyrinths als Organ für die Orientirung ergibt sich daraus für jeden denkfähigen Beobachter von selbst.

Es genügt, den „physiologischen" Theil ihrer neuen Mittheilungen zu lesen, um die Ueberzeugung zu gewinnen, dass das blosse Ableugnen der Angaben von Rawitz über die Verbildungen der Bogengänge in der That keinen anderen Zweck hatte. Die ganze Discussion dieses Theils ihrer Publikationen dreht sich nämlich darum, dass ich mit Unrecht „die Rawitz'sche Arbeit als eine der wichtigsten, welche in den letzten Jahrzehnten über die Physiologie des Ohrlabyrinths erschienen", erklärt habe (S. 548).

Ein weiteres Eingehen auf diesen physiologischen Theil der Untersuchung von Alexander und Kreidl ist also jetzt, nachdem sie ihre „anatomischen Studien" veröffentlicht haben, noch weniger erforderlich als früher.

Wenn Jemand, der die Gelegenheit hatte, die Bewegungen der Tanzmäuse zu beobachten, dabei zu dem Schlusse gelangen kann, diesen Thieren mangele das Gleichgewichtsvermögen, so verliert er das Anrecht, seine Anschauungen discutirt zu sehen. In diesem Falle wird jede wissenschaftliche Discussion auch desswegen überflüssig, dass die Autoren im Grunde selbst zu ahnen scheinen, dass ihre Rückkehr zur Goltz'schen Auffassung des Ohrlabyrinths als Gleichgewichtsorgan, die selbst Breuer längst aufgegeben hat, — dass diese Rückkehr nicht zu vertheidigen ist. Daher erwähnen sie nicht einmal der Versuche von Zoth, die, in so evidenter Weise, die Vollkommenheit des Gleichgewichtsvermögens bei Tanzmäusen durch Momentanaufnahmen demonstrirt haben.

Kreidl hat übrigens schon bei seinen früheren Untersuchungen über das Ohrlabyrinth ein unverkennbares Talent gezeigt, aus den Ergebnissen seiner Versuche verkehrte Schlussfolgerungen ziehen zu können. Es genügt, an seine Beobachtungen an Taubstummen zu erinnern, wo seine Schlüsse seinen Ergebnissen direct entgegengesetzt waren[1]) (Strehl, Cyon), oder an die Untersuchungen mit den Eisenotholiten, wo er evidente Schmerzäusserungen (Hensen, Cyon), als Beweise mangelhafter geometrischer Orientirung der Krebse aufgefasst hat (7, S. 110 und 5, S. 271). Es ist also zu entschuldigen, wenn er, weder meine Untersuchungen noch meine Lehre des Raumsinns hat verstehen können.

Es ist auch nicht der Mühe werth, die falschen, sinnentstellenden Citate meiner Arbeiten oder die mir ganz willkürlich zugeschobenen Widersprüche und Angaben zu berichtigen, auf denen sich ausschliesslich die naive Discussion dieser Herren beschränkt. Deren Zahl in den Publicationen von Alexander und Kreidl ist auch zu gross: allein auf den Seiten 548—550 findet man ein halbes Dutzend!

Literatur.

1) E. v. Cyon, Compt. rend. du XIII. Congrès International de Paris. Section de Physiologie. Séance du 7 Aout 1900.

2) Bernhard Rawitz, Das Gehörorgan der Tanzmäuse. Archiv f. Anatomie und Physiol. 1899.

---

1) Siehe 7, S. 58 und die Anmerkung auf Seite 293 von 5.

3) E. v. Cyon, Le Ses de l'espace. Dictionnaire de Ch. Richet, vol. IV. 1900.
4) Bernhard Rawitz: Neue Beobachtungen über das Gehörorgan der Tanzmäuse. Archiv f. Anatomie und Physiol. Supplementband 1901.
5) E. v. Cyon, Ohrlabyrinth, Raumsinn und Orientirung. Dieses Archiv Bd. 79.
6) Derselbe, Gesammelte physiol. Arbeiten. Berlin 1888. Hirschwald'sche Buchhandlung.
7) Derselbe, Bogengänge und Raumsinn. Archiv f. Physiol. von Du Bois-Reymond 1897.
8) Derselbe, Die physiol. Grundlagen der Geometrie von Euklid. Dieses Archiv Bd. 85.
9) Alexander und Kreidl, Zur Physiologie des Labyrinths der Tanzmäuse. Dieses Archiv Bd. 82.
10) O. Zoth, Ein Beitrag zu den Beobachtungen und Versuchen an japanischen Tanzmäusen. Dieses Archiv Bd. 86.
11) J. Steiner, Die Functionen des Central-Nervensystems und ihre Phylogenese. 1888.

Ueber die Assimilationsenergie einiger Pilze, verglichen mit der grüner Pflanzen.

Von

Th. Bokorny.

Viele Pilze zeichnen sich, wie durch Naegeli bekannt geworden ist, durch ihre Fähigkeit, eine grosse Zahl von organischen Stoffen als Nahrung benutzen zu können, aus. Abgesehen von den Eiweissstoffen assimiliren sie alle möglichen Kohlehydrate, ferner Alkohole, Säuren (letztere nach entsprechender Neutralisation), Aldehyde, Ketone u. s. w. Im Grossen und Ganzen werden Stoffe der Fettreihe leichter assimilirt als solche der Benzolreihe; offenbar sind letztere wegen ihres festeren Gefüges schwerer zu spalten, und eine Spaltung bis zu einfachen Atomcomplexen muss ja wohl der Assimilation vorausgehen, begleitet von Oxydations- oder Reductionsvorgängen, weil immer ein und derselbe Eiweissstoff, ein und dasselbe Kohlehydrat von jedem Pilzorganismus gebildet wird. Die Verwendung so verschiedenartiger Stoffe als Ganzes zum Aufbau von Eiweiss und Kohlehydrat ist da natürlich ausgeschlossen.

Ebenso staunenswerth wie diese Vielseitigkeit des Pilzorganismus ist aber auch die Quantität der Assimilation, worin die grünen Pflanzen bei Weitem von den Pilzen übertroffen werden.

Wer je eine Alge in Nährlösung gezogen und ihre geringe Zunahme beobachtet hat, ist überzeugt von der überlegenen Assimilationskraft der Pilze. Wie rasch bilden sich in geeigneten Nährsubstraten grosse Pilzrasen, auch wenn man gar keine Pilzsporen ausgesät hat! Die wenigen Pilzsporen, welche aus der Luft anfliegen, wachsen binnen wenigen Tagen bis zum sichtbaren, centimetergrossen Pilzrasen heran.

Aber nur quantitative Versuche können über das wirkliche Maass der Assimilation Aufschluss geben.

Schon Naegeli hat einige derartige Versuche angestellt.

„Enthält die Nährlösung 9 % (Rohr-)Zucker, 1 oder 0,5 % neutrales weinsaures Ammoniak und etwas mit Phosphorsäure

neutralisirte Hefenasche, und wird diese Lösung je nach zwei Tagen erneuert, so kann während der ersten vier Tage die Hefe sich auf das vierfache Gewicht vermehren."

„Ja, es lässt sich das Gewicht der Bierhefe mit Zucker und weinsaurem Ammoniak während 64 Stunden auf das Zwölffache vermehren, wenn man den Versuch im Brütkasten aufstellt und Luft durchleitet."

„Doch erleiden selbst unter den allergünstigsten Bedingungen die Sprosspilze, die den Stickstoff bloss in Form von Ammoniak erhalten, eine zunehmende Schwächung und gehen ihrem sicheren Untergang entgegen." (Naegeli, Münchner Akad. d. Wiss. 5. Juli 1879.)

„Wird der Zutritt der Luft verhindert, so vermögen Ammoniaksalze mit Zucker die Sprosspilze zwar noch durch viele Generationen zu ernähren, aber die Vermehrung ist jetzt eine viel geringere und hört in Folge von Erschöpfung nach viel weniger Generationen auf als bei Zutritt von Sauerstoff.

Das Gesagte gilt für alle Ammoniaksalze, wobei indessen zu bemerken ist, dass, wenn dieselben für sich allein die Sprosspilze ernähren sollen, das weinsaure, citronsaure, bernsteinsaure Salz günstiger wirkt als das essigsaure und dieses günstiger als das salicylsaure und benzoësaure Ammoniak. Befindet sich aber Glycerin oder Zucker in der Nährflüssigkeit, so verhalten sich die verschiedenen Ammonsalze fast gleich, insofern sie nicht antiseptisch wirken; auch das salpetersaure Ammoniak gibt keine ungünstigeren Resultate als die übrigen."

Ueber die Wirkung von Säuren auf die Hefenernährung äussert sich Naegeli, dass man damit sehr vorsichtig sein müsse. So erwiesen sich beispielsweise 0,8 % Citronensäure in einer 9 %igen Zuckerlösung, welche 0,5 % neutrales citronensaures Ammoniak und etwas Hefenasche enthielt, als schädlich. Die Vermehrung der Sprosszellen war in diesem Falle äusserst träge; sie dauerte in mehreren Versuchen nach 2 Jahren noch fort; es hatte sich in dieser langen Zeit äusserst wenig Hefe gebildet, und es war fast kein Zucker durch Gärung verschwunden. Schädlicher noch soll freie Essigsäure wirken.

Die reinen Kohlenstoffquellen (die nicht zugleich Stickstoffnahrung sind) hat Naegeli in folgende Stufenleiter gebracht:

1. Die Zuckerarten (sie ernähren am besten),
2. Mannit, Glycerin,
3. Weinsäure, Citronensäure, Bernsteinsäure,

4. Essigsäure, Aethylalkohol, Chinasäure,
5. Benzoësäure, Salicylsäure,
6. Phenol.

Leider gibt Naegeli meist die Quantität der Assimilation innerhalb einer bestimmten Zeit und bei bestimmter Aussaatmenge nicht an; er sagt nur, die Pilzvegetation sei am Schluss des Versuches (nach Tagen, Monaten, Jahren?) dem Augenschein nach reichlich, spärlich u. s. w. gewesen.

Reichlicher sind quantitative Angaben bei den Versuchen über Ernährung mit verschiedenen Stickstoffquellen zu finden.

Naegeli gibt z. B. an, dass bei Ernährung mit

0,47 % Ammontartrat,
0,005 % Ammonsulfat,
9 % (Rohr-)Zucker,
0,035 % Dikaliumphosphat,
0,006 % Magnesiumsulfat,
0,0015 % Calciumchlorid

eine Hefemenge von 0,732 g Trockensubstanz binnen 10 Tagen — unter dreimaliger Erneuerung der Nährflüssigkeit — bei 25—30° sich auf 2,836 g Trockensubstanz vermehrte.

Bei Nitraternährung (mit Natron- und Calciumnitrat) erfolgte keine Vermehrung der Stickstoffsubstanz der Hefe, sondern nur geringe Cellulosezunahme.

Die Hefepilze sind bekanntlich mit Nitraten nicht fortzubringen, weil die bei der Verwendung derselben als Uebergangs-Reductionsproduct sich bildende salpetrige Säure sie schädigt.

Spaltpilze assimiliren nach Naegeli und Loew die Nitrate. In einer Nährlösung von

Wasser	200	g,
Dikaliumtartrat . .	5	„
Natriumnitrat . . .	2	„
$NgSO_4$	0,08	„
$CaCl_2$	0,02	„
K_2HPO_4	1,0	„

wuchsen — ohne Aussaat — binnen 8 Wochen Spaltpilz-Colonien vom Gewichte 0,113 g. Die Salpetersäure war theils zu salpetriger Säure, theils zu Ammoniak reducirt worden, welch' letzteres sich als Carbonat in der Flüssigkeit befand.

Schimmel vermag Nitrate zu assimiliren, salpetrige Säure lässt sich aber als Zwischenproduct bei der Reduction zu Ammoniak (eine solche muss zweifellos stattfinden, weil das Eiweiss den Stickstoff als Amidogruppe NH_2 enthält) nicht nachweisen.

In einer Nährlösung von

Wasser	400	g,
Glycerin	30	„
K_2HPO_4	0,80	„
$MgSO_4$	0,06	„
$CaCl_2$	0,02	„
Natriumnitrat . . .	3,20	„
Essigsäure	1,00	„

wuchs (binnen welcher Zeit?) von selbst eine Schimmelvegetation von 1,770 g Gewicht.

In einer ähnlichen Lösung, welche statt des Natriumnitrates eine äquivalente Menge Harnstoff enthielt, wuchs sogar 3,519 g Schimmel. Bei Anwendung von Ammonnitrat als Stickstoffquelle nur 1,655 g Schimmel-Erntegewicht.

Auch Methylamin (oder Aethylamin) dient den Schimmelpilzen als Stickstoffnahrung. Die Vermehrung ist eine sehr beträchtliche, wenn Zucker als Kohlenstoff-Quelle gegeben wird. Nach Naegeli und Loew wächst in einer Nährlösung von:

Wasser	200	g,
Salzsaurem Methylamin	2,5	„
Dikaliumphosphat . .	0,25	„
$MgSO_4$	0,08	„
$CaCl_2$	0,02	„
Phosphorsäure . . .	1,25	„
Zucker	12	„

binnen 41 Tagen 3,230 g Schimmel (als Trockensubstanz bestimmt).

Auch Spaltpilze verarbeiten diese organischen Stickstoffquellen.

Ein von dem Verfasser in jüngster Zeit angestellter Schimmel-Ernährungsversuch mit 1 Liter folgender Nährlösung:

Wasser	1000	g,
Glycerin	5	„
Monokaliumphosphat .	0,1	„
Bittersalz	0,1	„
Ammonsulfat . . .	0,5	„

wurde bei Zimmertemperatur durchgeführt. Die Aussaat betrug sehr wenig, nur eine 2 mg Trockensubstanz entsprechende Schimmelmenge.

Nach vier Wochen wurde der Schimmel auf einem Filter gesammelt, gewaschen und dann getrocknet, bis zur Gewichtsconstanz bei 100° erhitzt.

Es ergab sich 2,0 g Trockensubstanz. Das Trockengewicht hatte sich also während vier Wochen auf das Tausendfache vermehrt!

Der Versuch wurde in einer grösseren offenen Porzellanschale durchgeführt; die Nährlösung war mit gestandenem, also lufthaltigem Wasser bereitet; während des Versuches konnte immer Sauerstoff an der grossen Oberfläche absorbirt werden, so dass die Schimmelpilze den ihnen so unentbehrlichen Sauerstoff reichlich vorfanden; auch halten sich Schimmelrasen lange Zeit an der Oberfläche, wo die grösste Sauerstoffmenge vorhanden ist, schwimmend.

Schwieriger gelingen quantitative Glycerinversuche mit Hefe, weil sich dieselbe bald zu Boden setzt und den wenigen dort vorhandenen Sauerstoff rasch verbraucht. Damit fällt die Energiequelle weg, welche sonst die Assimilation ermöglicht. Es wird also nur anfangs eine geringe Assimilation stattfinden, später ein Stillstand und dann wohl gar eine ungünstige Wirkung eintreten.

Factisch ergaben mir auch nur diejenigen Versuche einige Trockensubstanz-Vermehrung, welche nach kurzer Zeit unterbrochen wurden, die anderen Verminderung.

Um deutliche Differenzen zu erhalten, wandte ich grössere Hefemengen als bei den Zuckerversuchen an, nämlich je 50 g Presshefe von 27,27 % Trockensubstanz auf 200 ccm Lösung. Nach Beendigung der Versuche wurde die Flüssigkeit von der am Boden dicht zusammenhängend abgesetzten Hefe abgegossen, letztere dann einige Mal ausgewaschen. Hierauf wurde die Hefe bis zur Gewichtsconstanz getrocknet.

Glycerinversuche (mit Hefe) von 22stündiger Dauer.

I.		II.	
Wasser	200 g	Wasser	200 g
Glycerin	10 g (d. i. 5 %)	Glycerin	20 g (d. i. 10 %)
Hefe	50 g.	Hefe	50 g.

III.		IV.	
Wasser	200 g	Wasser	200 g
Glycerin	30 g (d. i. 15 %)	Glycerin	20 g (d. i. 20 %)
Hefe	50 g.	Hefe	50 g.

V.

Wasser	200 g
Glycerin	60 g (d. i. 30 %)
Hefe	50 g.

I. ergab 30,2 % Trockensubstanz; II. 31,0 %; III. 37 %; IV. 35,7 %; V. 36,7 % Trockensubstanz. Also in jedem Falle eine Vermehrung, da die ursprüngliche Trockensubstanz nur 28,27 % betrug. In einem Falle (III) war die Trockensubstanz fast um ein Drittel vermehrt worden binnen 22 Stunden!

Die angewandte Temperatur war Zimmertemperatur.

Weggelassen waren hier mineralische Zusätze jeder Art, weil durch diese wohl nichts gebessert worden wäre. So viel Mineralstoff, als die Hefe binnen 22 Stunden beansprucht, war ja in der angewandten Presshefe ohnedies schon enthalten.

Was aus dem Glycerin bei den erwähnten Versuchen geworden ist, in welcher Form es assimilirt wurde, das wurde nicht festgestellt. Eine Probe auf Glykogen (mit Jodlösung) fiel nicht deutlich positiv aus.

Glycerinversuche (mit Hefe) von 5 tägiger Dauer.

VI.			VIII.		
Wasser	200	g	Wasser	200	g
Glycerin	10	g (d. i. 5 %)	Glycerin	20	g (d. i. 10 %)
Hefe	20	g.	Hefe	20	g.

VII.			IX.		
Wasser	200	g	Wasser	200	g
Glycerin	10	g (d. i. 5 %)	Glycerin	20	g (d. i. 10 %)
Monokaliumphosphat	0,6	g	Monokaliumphosphat	0,8	g
Bittersalz	0,2	g	Bittersalz	0,2	g
Ammonsulfat . . .	0,5	g	Ammonsulfat . . .	0,8	g
Hefe	20,0	g.	Hefe	20,0	g.

Die Trockensubstanzbestimmung an 2 Proben der angewandten Presshefe von je 20 g hatte 6,2 und 6,23 g ergeben.

Nun wurden nach 5 Tagen die Trockensubstanzen der Versuchshefen, nachdem dieselben durch Waschen von der anhängenden Lösung befreit worden waren, bestimmt.

Es ergab sich bei VI. 5,55 g; VII. 5,30 g; VIII. 5,40 g; IX. 5,75 g. Also hatte sich bei allen Versuchen die Trockensubstanz der Hefe vermindert, vermuthlich durch Austritt von gelösten Substanzen aus abgestorbenen Hefezellen.

Aehnliche Schwierigkeiten wie bei Glycerin ergaben sich auch bei Milchzucker-Ernährung der Hefe, sowie bei allen anderen Kohlenstoff-Quellen, die nicht vergärbare Kohlehydrate sind. Folgendes einige Versuche (bei 18° C.):

A.		B.	
Wasser	200 g	Wasser	200 g
Milchzucker	10 g (d. i. 5%)	Milchzucker	10 g (d. i. 5%)
Hefe	50 g	Hefe	50 g
Versuchszeit 24 Stunden.		Versuchszeit 60 Stunden.	

Die sofortige Trockensubstanzbestimmung an der betr. Hefe hatte bei 2 Proben 28,27 % ergeben.

Bei Versuch A erhielt ich 32,6 %, bei B 26,2 % Trockensubstanz. Diese hatte also bei nur 24stündiger Versuchsdauer zu-, bei 60stündiger Dauer abgenommen.

Um länger dauernde Ernährungsversuche mit Hefe anstellen zu können, müssen entweder Reinculturen angewendet und infectionssicher weiter gezüchtet werden, oder man muss der Hefe einen gärfähigen Zucker darbieten. Durch letzteres werden die Hefezellen beständig schwebend erhalten und die sonst so leicht sich einstellenden Bakterien oder Schimmelpilze ziemlich ausgeschlossen, weil ihnen Alkohol in grösserer Menge ungünstig ist; auch ist es gut, die Hefe von vornherein in nicht zu kleiner Quantität zuzusetzen, damit sie den Vernichtungskampf gegen Schimmel- und Spaltpilze leichter bestehe.

So kann man die Versuche Tage lang, sogar bei Brüttemperatur, rein erhalten.

Will man keinen gärfähigen Zucker darbieten, so bleibt nichts anderes übrig, als filtrirte und desinficirte Luft während der ganzen Versuchszeit durchzuleiten; dadurch kann man das Bakterienwachsthum auf einige Tage abhalten, wenn die Hefe in grossem Ueberschuss ist, wie es ja bei guter Presshefe der Fall ist; auch wird damit eine

ununterbrochene Sauerstoffathmung der Hefe herbeigeführt und die zur Assimilation nöthige Energie gewonnen.

Es war mir von Interesse, die *Assimilationsleistung der Hefe bei ausschliesslicher Sauerstoffathmung und die bei blosser intramolekularer Athmung (Gärung)* zu vergleichen. Zu beiden Versuchen wurde die günstigste organische Hefenahrung, die es gibt, nämlich Pepton, verwendet. Rohrzucker wurde in einem der beiden Versuche als Gärmaterial zugefügt, ausserdem in beiden Fällen die nöthige Mineralsubstanz, um eine ausgiebige Zunahme der Hefe zu ermöglichen. Die Versuchszeit betrug 2 Tage.

Versuch 1.

Wasser	50,0	g
Rohrzucker	5,0	g
Pepton (Fleisch-)	1,25	g
Monokaliumphosphat	0,2	g
Bittersalz	0,05	g
Hefe	1	g

Versuchsfläschchen bei Zimmertemperatur mit Watteverschluss 2 Tage aufgestellt.

Versuch 2.

Wasser	50,0	g
Pepton (Fleisch-)	1,25	g
Monokaliumphosphat	0,20	g
Bittersalz	0,05	g
Hefe	1	g

Versuchsfläschchen mit Gummipfropfen verschlossen, durch dessen 2 Bohrungen ein Zuleitungs- und ein Ableitungsrohr ging; die zuvor gereinigte Luft ging in langsamem Strom durch die Nährflüssigkeit (bis auf den Grund) und entwich dann. Die Hefe wurde dadurch immer wieder aufgerührt.

Die Trockensubstanzbestimmung der in beiden Versuchen kräftig gewachsenen Hefe ergab bei Versuch 1 0,88 g, bei Versuch 2 0,80 g.

Da 1 g meiner Hefe von vornherein nur 0,31 g Trockensubstanz aufwies, so ist klar, dass in beiden Versuchen eine sehr bedeutende Trockensubstanzvermehrung stattgefunden hat. *Nahezu verdreifacht* hatte sich die *Trockensubstanz* binnen 2 Tagen.

Die gärende Flüssigkeit ergab ein um etwas, aber nicht viel besseres Resultat als die mit Luft durchströmte. Die Alkoholgärung ist also eine vorzügliche Energiequelle für Hefe und leistet in Bezug auf Anregung und Unterhaltung der Assimilationsthätigkeit sogar etwas mehr als die Sauerstoffathmung.

Wie ausserordentlich günstig das *Pepton* gegenüber anderen Stickstoffquellen wirkt, mag aus folgenden Versuchen entnommen werden:

a)

Wasser. . . .	250	g
Rohrzucker . . .	25	g
Asparagin. . .	6,25	g (d. i. 2,5 %)
Monokaliphosphat	1,25	g
Bittersalz	0,25	g
Hefe	1	g.

b)

Wasser. . . .	250	g
Rohrzucker . . .	25	g
Pepton (aus Fleisch)	6,25	g (d. i. 2,5 %)
Monokaliphosphat	1,25	g
Bittersalz	0,25	g
Hefe	1	g.

c)

Wasser	250	g
Rohrzucker	25	g
Ammonsulfat	1,25	g
(d. i. 0,5 %, die günstigste Concentration des Ammonsalzes)		
Bittersalz	0,25	g
Monokaliphosphat	1,25	g
Hefe	1	g.

Nach zweitägigem Stehen bei 30 ° wurde die Hefe gesammelt, gewaschen und die Trockensubstanz bestimmt. Diese Bestimmung bestätigte die Richtigkeit des Augenscheins, wonach in allen drei Fällen die Hefemasse zugenommen hatte.

a) ergab 0,62 g Trockensubstanz; b) 0,88 g; c) 0,55 g. Die ursprüngliche Trockensubstanz von 1 g der angewandten Hefe hatte 0,31 g ergeben. Also war eine bedeutende Zunahme binnen 2 Tagen erfolgt, am meisten bei Peptonnahrung, wo fast das dreifache Trockengewicht erreicht wurde, während bei Asparaginnahrung das doppelte eben erreicht, bei Ammonsalz-Darreichung nicht ganz erreicht wurde.

Bemerkt sei noch, dass bei allen drei Versuchen die Hefe rein von Bakterien geblieben war; auch der Peptonversuch zeigte bei mikroskopischer Untersuchung nur Hefezellen; keine Spur eines Fäulnissgeruches war aufgetreten. Offenbar hatte die Gärung und die damit verbundene Alkoholbildung der Hefe das dauernde Uebergewicht über die Bakterien verschafft. Sonst (bei mangelnder Gärung) tritt in Folge des Peptonzusatzes, auch wenn ganz gute Hefe genommen wird, sehr rasch Fäulnissgeruch ein.

Ueber die **Mineralnahrung der Hefe** wurden vom Verf. folgende Versuche gemacht:

Um die für die Ernährung günstigste Menge von Kaliumphosphat, ferner von Ammonsalz, bei Hefe auszuprobiren, wurde je 1 g Hefe von 0,31 g Trockensubstanz in je 1 Liter folgender Nähr- und Gärlösung gebracht:

I.	
Wasser	1 Liter
Rohrzucker	5 %
PO_4KH_2	0,1 %
Bittersalz	0,1 %
Ammonsulfat	0,5 %
Hefe	1 g.

II.	
Wasser	1 Liter
Rohrzucker	5 %
PO_4KH_2	0,1 %
Bittersalz	0,1 %
Ammonsulfat	0,5 %
Hefe	1 g.

III.	
Wasser	1 Liter
Rohrzucker	5 %
PO_4KH_2	0,5 %
Bittersalz	0,1 %
Ammonsulfat	0,5 %
Hefe	1 g.

IV.	
Wasser	1 Liter
Rohrzucker	5 %
PO_4KH_2	1 %
Bittersalz	0,1 %
Ammonsulfat	0,5 %
Hefe	1 g.

V.	
Wasser	1 Liter
Rohrzucker	5 %
PO_4KH_2	0,1 %
Bittersalz	0,1 %
Ammonsulfat	1,0 %
Hefe	1 g.

Man sieht, dass die Nährlösung gleich angesetzt wurde bis auf den Gehalt an Kaliumphosphat bezw. Ammonsulfat, deren günstigste Menge eben ausprobirt werden sollte.

Nach zweitägigem Aufenthalt im Brütofen bei 30° wurde die Hefe der einzelnen Versuche auf Filtern gesammelt, etwas gewaschen, dann sorgfältig abgenommen und bei 100° getrocknet bis zur Gewichtsconstanz.

Es ergab sich bei I. 0,42 g; II. 0,48 g; III. 0,58 g; IV. 0,40 g; V. 0,20 g Trockensubstanz.

Am günstigsten wirkte also 0,5 % Dikaliumphosphat und 0,5 % Ammonsulfat. 1 % Ammonsulfat war zu viel und hatte eine nachtheilige Wirkung auf die Hefe, wie aus dem Sinken des Trockengewichts von 0,31 auf 0,20 hervorgeht. Offenbar waren Hefezellen abgestorben und hatten Trockensubstanz in die Flüssigkeit austreten lassen.

Die Trockensubstanz hatte sich bei I. um 39 %, II. um 55 %, III. um 87 %, IV. um 29 % vermehrt, bei V. um 35 % vermindert binnen 2 Tagen!

Um den Einfluss der Temperatur zu sehen, wurden Versuche von der gleichen Art wie I. bei 20° und bei 5° C. auf-

gestellt. In ersterem Falle trat eine Trockensubstanzvermehrung von 0,31 auf 0,51 (also um 64 %), in letzterem eine Verminderung von 0,31 auf 0,24 ein. 35 ° ist also etwas zu warm für die Assimilation der Hefe, da mittlere Temperaturen eine grössere Zunahme der Trockensubstanz ergeben. 5 ° ist aber wieder zu kalt, als dass eine Assimilation eintreten könnte.

Bei folgenden Versuchen wurden Kohlenstoffquellen ohne gleichzeitige Darbietung von Mineralsubstanz dargereicht.

20 g Hefe wurden in 100 ccm von

a) Rohrzucker 5 %, b) Rohrzucker 10 %, c) Rohrzucker 20 %

gebracht und 48 Stunden bei Zimmertemperatur stehen gelassen. Dann wurde die Nährlösung abgegossen, die Hefe gewaschen und getrocknet.

Die Trockensubstanzbestimmung (nach 2 Tagen) ergab bei a) 5,6 g, d. i. 28,0 %; bei b) 4,62 g, d. i. 23,1 %; bei c) 5,5 g, d. i. 27,5 % Trockensubstanz.

Dieselbe Bestimmung, bei der frischen Versuchshefe ausgeführt, hatte 28,27 % Trockensubstanz ergeben.

Also hatte die Trockensubstanz der Hefe in allen drei Versuchen bei zweitägiger Darreichung von 5 bis 20 %iger Rohrzuckerlösung (ohne Mineralsubstanz) abgenommen!

Diese Abnahme scheint darauf hinzuweisen, dass bei Mangel von Mineralsubstanz der Rohrzucker nur vergoren wird und nicht theilweise zur Assimilation dient. Gleichzeitig mit dem von aussen eingeführten Zucker scheinen in der Hefezelle selbst geringe Mengen Substanz verbraucht zu werden (Glykogen?).

Assimilationsenergie grüner Pflanzen. Die lange Versuchsdauer, welche bei Laboratoriumsversuchen über dieses Thema nöthig ist, sowie die Schwierigkeit, die Culturen bei organischer Ernährung während dieser Zeit von Bakterien frei zu erhalten, mag daran schuld sein, dass eine nur geringe Anzahl von Versuchen vorliegt. Freilich ist bei grünen Pflanzen auch eine unorganische Ernährung möglich, ja sogar normal; bei ihnen kommt die Kohlensäure-Assimilation, deren kein Pilz fähig ist, als normale Leistung in Betracht. In dieser Hinsicht lässt sich manches quantitative Resultat aus den Anbau-Ergebnissen der Land- und Forstwirthschaft entnehmen, wenigstens für höhere Pflanzen, wie es die Culturpflanzen sind.

Dass die grünen Pflanzen auch einer organischen Ernährung, ja sogar einer ausschliesslich organischen fähig sind, ist durch Arbeiten von J. Boehm (Botan. Ztg. 1883, Ueber Stärkebildung aus Zucker), A. Meyer (Botan. Ztg. 1885), E. Laurent (Sur la formation d'amidon, Brüssel 1888), Klebs, Baessler, O. Loew, Frank, Knop, Wolf, Hampe, Wagner, Johnson, Beyer, Verfasser erwiesen.

Organische Kohlenstoff- und Stickstoffquellen wurden versucht; ja, sogar der Phosphor und Schwefel wurden als organische Verbindungen, die nöthigen Metalle (Kalium, Calcium, Magnesium) als ameisensaure, essigsaure und andere Salze dargeboten (O. Lewinson).

Als gute Stickstoffquelle ist z. B. von Hampe der Harnstoff erkannt worden. Er hat Maispflanzen mit Harnstoff als einziger Stickstoffquelle bis zur Körnerbildung gebracht. Nach Frank lassen sich gelbe Lupinen und Erbsen mit Harnstoff bis zur Bildung von Körnern unter Vervielfältigung ihres Stickstoffgehalts heranziehen (sogar etwas besser als mit Ammoniak).

Für Mais ist auch das Glykokoll eine günstige Stickstoffnahrung.

Mit Kreatin konnte Wagner Maispflanzen bis zur Körnerbildung aufziehen.

Leucin und Tyrosin können nach D. Wolf vom Roggen als Stickstoffquelle verwendet werden. Guanin (salzsaures) erwies sich für Maisculturen als brauchbare Stickstoffquelle.

Verfasser fand bei Algen das Urethan und Glykokoll als brauchbare Stickstoffquellen; die ebenfalls geprüften Substanzen: Aethylamin, Trimethylamin, Cyanursäure und Rhodankalium aber erwiesen sich als mehr oder minder unbrauchbar.

Unter den zahlreichen organischen Kohlenstoff-Quellen, welche für grüne Pflanzen als brauchbar gefunden wurden, seien nur einige hervorgehoben: Methylalkohol, Formaldehyd (als Methylal oder als formaldehydschwefligsaures Natron dargeboten), Essigsäure (wie alle folgenden Säuren als Salz dargeboten), Milchsäure, Weinsäure, Asparaginsäure, Aepfelsäure, Asparagin, Pepton, Glycerin, Rohrzucker, Dextrose, Milchzucker, Maltose etc.

Entstärkte Algen und andere grüne Pflanzen setzen Stärke an, wenn sie (bei Kohlensäure-Ausschluss) in geeignete Lösungen dieser Substanzen versetzt werden.

Quantitative Versuche über die Ausgiebigkeit dieser organischen Ernährung sind in geringer Zahl angestellt worden.

Verfasser stellte quantitave Ernährungsversuche mit Formaldehyd an[1]). Eine 0,1 %ige Lösung von formaldehydschwefligsaurem Natron wurde mit etwas Dikaliumphosphat versetzt, um die schädliche Wirkung des bei der Spaltung freiwerdenden sauren schwefligsauren Natrons zu hindern. Von dieser Lösung wurde das Reductionsvermögen gegen Kaliumpermanganatlösung bestimmt. Nach 10 Tage dauerndem Aufenthalt der Algen in derselben wurde das Reductionsvermögen wieder gemessen und aus der bedeutenden Abnahme berechnet, dass der Gehalt der Lösung an formaldehydschwefligsaurem Natron binnen 10 Tagen durch die assimilirende Thätigkeit von 10 g Spirogyren von 240 mg auf 125 mg gesunken war. Bei einem zweiten Versuch hatte eine Abnahme von 221,3 auf 134,4 mg, bei einem dritten Versuche von 231,3 auf 156,2 mg stattgefunden.

10 g Spirogyren (feucht gewogen) hatten also binnen 10 Tagen verbraucht bei Versuch 1 115 mg formaldehydschwefligsaures Natron; bei Versuch 2 96,9 mg; bei Versuch 3 75,1 mg dieser Substanz.

Um den Einwand zu beseitigen, dass möglicher Weise eine blosse Selbstoxydation der Substanz, durch den Luftzutritt hervorgerufen, jene Abnahme wenigstens theilweise bedinge, wurde eine Probe mit 0,1 % formaldehydschwefligsaurem Natron + 0,05 % Dikaliumphosphat ohne Algenzusatz in der beschriebenen Weise aufgestellt. Es zeigte sich, dass binnen 7 Tagen keine Abnahme des Reductionsvermögens stattfand. Jene Verminderung des Reductionsvermögens bei obigen Versuchen ist also auf Rechnung der Algenvegetation zu setzen. Die Algen verbrauchten das formaldehydschwefligsaure Natron zu ihrer Ernährung, indem sie aus dem einen Bestandtheil desselben (CH_2O) Kohlehydrat bildeten.

Pilze traten in den Nährflüssigkeiten nicht auf; sie konnten also nicht zum Verbrauche der organischen Substanz beitragen. Gerade in dieser Hinsicht ist formaldehydschwefligsaures Natron besonders günstig, da hier die sonst so gern erscheinenden Pilze fern bleiben und somit das Versuchsresultat eindeutig ist.

Ganz ähnliche Versuche wurden auch mit Glycerin angestellt; nur wurde statt des Dikaliumphosphats Monokaliumphosphat angewendet.

---

1) Pettenkofer's Archiv für Hygiene 1892 S. 203.

Es wurde eine Lösung hergestellt, welche 5 Tropfen reinen Glycerins auf 250 ccm Wasser enthielt und ausserdem 0,05 % Monokaliumphosphat und 0,05 % Chlorkalium. Die Lösung wurde mit 10 g Spirogyra nitida versetzt und 24 Stunden stehen gelassen. Hierauf wurde mit Permanganat titrirt. Die Algen gediehen sehr gut in der Lösung und häuften Stärke in den Chlorophyllbändern an, wie verschiedene Male herausgenommene Proben zeigten.

Nach 10 Tagen wurde das Reductionsvermögen der Flüssigkeit gegen Kaliumpermanganat abermals festgestellt; es hatte bedeutend abgenommen, nämlich um 66,2 %. Die Algen hatten also ungefähr zwei Drittel des Glycerins, etwa 0,16 g (wenn 5 Tropfen Glycerin = 0,25 g gerechnet werden) binnen 10 Tagen verbraucht.

Bei einem zweiten, ähnlichen Versuche ging der Gehalt an reducirender Substanz (Glycerin) binnen 5 Tagen um 25,4 % zurück; ohne Algen (im Controlversuch) fand eine Abnahme der organischen Substanz nicht statt.

Die Rechnung ergab, dass 10 g Spirogyra nitida (feucht gewogen) in ersterem Falle binnen 10 Tagen 168 mg Glycerin, in letzterem binnen 5 Tagen 66,4 mg desselben verbrauchten.

Nehmen wir an, dass in 10 g feucht gewogener Spirogyren 1 g Trockensubstanz enthalten sei, so ergibt sich, dass auf 1 g Spirogyren-Trockensubstanz binnen 10 Tagen 168 mg Glycerin und binnen 5 Tagen 66,4 mg verbraucht wurden, bei formaldehydschwefligsaurem Natron binnen 10 Tagen 115 mg oder 96,6 mg.

Der Verbrauch des Glycerins ist etwas stärker, vielleicht desswegen, weil das formaldehydschwefligsaure Natron erst gespalten werden muss, um Verwendung zu finden.

Ob die genannten Substanzen ausschliesslich zur Assimilation dienten oder auch theilweise verathmet wurden, ist nicht festgestellt worden.

Nimmt man das Eine oder Andere an, so lässt sich ausrechnen, dass etwa 100 Tage verstreichen würden, bis die Alge ebensoviel Glycerin oder formaldehydschwefligsaures Natron verbraucht, als ihre Trockensubstanz beträgt. Ferner ergibt sich, dass 100 kg genannter Algen (feucht gewogen) binnen einem Tage etwa 100 g organischer Nahrung (wie Glycerin) verbrauchen.

Dass auch Trockensubstanzvermehrung stattfindet, wurde durch folgende Versuche bewiesen.

Abgewogene Mengen von Spirogyra wurden in kohlensäurefreiem Raum bei Lichtzutritt cultivirt. Um bestimmte Mengen von Spirogyra zum Versuche verwenden zu können, wurde eine grössere, möglichst reine Algenmenge auf einem Seiher gut ausgewaschen (zur möglichsten Entfernung von Spaltpilzen und Infusorien), dann abtropfen gelassen und zwischen mehrfachen Lagen von Fliesspapier ausgebreitet, zur Entfernung anhängenden Wassers. Dann wurden hiervon zahlreiche Proben von je 2 oder 5 oder 10 g auf einer empfindlichen Handwage rasch abgewogen und verwendet. Immer wurde von zwei bis drei oder mehr Proben sogleich eine Trockensubstanzbestimmung gemacht; die Proben ergaben immer nahe übereinstimmende Trockensubstanzmengen. Um die Kohlensäure möglichst zu entfernen, wurde das Wasser, welches zur Herstellung der Nährlösungen diente, ausgekocht, rasch bei möglichst beschränktem Luftzutritt abgekühlt, zu je 250 ccm in offen bleibende Wasserculturgläser eingefüllt und mit den vorher abgewogenen oder abgemessenen Nährsubstanzen versetzt. Da sich hierbei in allen Flaschen, welchen (wegen des formaldehydschwefligsauren Natrons) Dinatriumphosphat und ausserdem Salze der alkalischen Erden (Calciumnitrat, Magnesiumsulfat u. s. w.) zugesetzt wurden, ein weisser Niederschlag bildete, so wurden die Flaschen mit den Nährlösungen immer schon Tags zuvor angesetzt und über Kalilauge 12 Stunden lang stehen gelassen, bis der Niederschlag sich gesetzt hatte und die Lösung klar war. In diese Lösungen wurden dann die abgewogenen Spirogyrenmengen gebracht. Die Versuchsflaschen wurden in eine grosse Glasschale gebracht, deren Boden mit starker, frisch bereiteter Kalilauge einige Centimeter hoch bedeckt und in welche eine geräumige Glasglocke eingesetzt war; sämmtliche (3 bis 5) Flaschen befanden sich also in einem baldigst kohlensäurefrei werdenden geschlossenen Luftraum.

Mehrere solche quantitative Versuche, bei Luftzutritt und Kohlensäure-Ausschluss angestellt, ergaben nun in Folge des Zusatzes von formaldehydschwefligsaurem Natron erhebliche Vermehrung der Trockensubstanz unter Auftreten grosser Stärkemengen im Chlorophyllband; freilich mussten hierzu die Culturen mehrere Tage stehen und gesund bleiben; erkrankte Culturen sind zu verwerfen, da sie sich nicht ausgiebig vermehren, und weil durch das Absterben eines Theiles der Zellen Trockensubstanz in die Umgebung austritt und Trockensubstanzverlust hiermit eintritt; ausserdem kommen durch den Austritt organischer Substanzen aus den Algenzellen Spaltpilze

in die Lösung, welche Kohlensäure produciren und damit Kohlensäure-Assimilation bei den grünen Pflanzen ermöglichen, also das Versuchsresultat fälschen können. Nach Beendigung des Versuches wurden die Flaschen herausgenommen, die Algen sofort mikroskopisch untersucht und dann nach dem Abtropfenlassen der Flüssigkeit und Waschen mit Wasser deren Trockensubstanz bestimmt.

So ergab ein Versuch mit formaldehydschwefligsaurem Natron + 0,05 % Dikaliumphosphat + 0,1 % Calciumnitrat + 0,025 % Bittersalz + 0,05 % Calciumchlorid eine Vermehrung der Trockensubstanz von 0,21 g auf 0,26 g binnen 10 Tagen; viele Fäden (der Spirogyra nitida, die hier als Reincultur angewandt wurde) waren abgestorben, so dass man also nicht bloss die hierbei ausgetretene Trockensubstanz noch zu den 0,26 g hinzuaddiren, sondern auch die wirklich erfolgte Trockensubstanzvermehrung auf Rechnung nur eines Theiles der angewandten Algenmenge setzen muss; die abgestorbenen Fäden konnten ja nicht assimiliren. Die lebenden Fäden waren nicht sehr reich an Stärke; es war also viele neugebildete Substanz zum Wachsthum verwendet worden. Ein Controlversuch mit 0,1 % Calciumnitrat + 0,025 % Monokaliumphosphat + 0,05 % Chlorkalium + Spur Eisenchlorid ergab nur 0,21 g Trockensubstanz, also ein Gleichbleiben der Trockensubstanzmenge während jener 10 Tage. Die Fäden boten hier Hungererscheinungen dar. Die Chlorophyllbänder waren ohne Stärke, ohne seitliche Ausbuchtungen, fast gerade, nicht mehr spiralig verlaufend, so kurz, dass sie kaum mehr die Hälfte der Zellenlänge annahmen.

Mit einer anderen (kleineren) Spirogyra-Art wurde dann ein ähnlicher Versuch im kohlensäurefreien Raum angestellt, wie vorhin beschrieben; nur wurde eine kaliumfreie Nährlösung angewandt. Ein Controlversuch ohne formaldehydschwefligsaures Natron wurde ebenfalls aufgestellt:

I.		II (ohne Formaldehyd).	
Formaldehydschwefligsaures Natron	0,1 %	Mononatriumphosphat	0,02 %
Dinatriumphosphat	0,05 %	Calciumnitrat	0,1 %
Calciumnitrat	0,1 %	Bittersalz	0,025 %
Bittersalz	0,025 %	Calciumchlorid	0,05 %
Calciumchlorid	0,05 %	Eisenchlorid	Spur.
Eisenchlorid (neutralisirt)	Spur.		

Binnen 9 Tagen stieg die Trockensubstanz bei I. von 0,09 auf 0,12 g; bei II. sank sie von 0,09 auf 0,07 g herab. Die Algen blieben bis zum Schluss des Versuchs in beiden Fällen lebendig.

Die Abnahme bei II. rührt offenbar von der Athmung der Algen her.

Weitere Versuche, wobei die Menge des formaldehydschwefligsauren Natrons etwas erhöht wurde, sind folgende:

III und III a (gleich).		IV und IV a (gleich).	
Formaldehydschwefligsaures Natron	0,2 %	Formaldehydschwefligsaures Natron	0,3 %
Dinatriumphosphat	0,1 %	Dinatriumphosphat	0,2 %
Calciumnitrat	0,1 %	Calciumnitrat	0,1 %
Bittersalz	0,025 %	Bittersalz	0,025 %
Chlorkalium	0,05 %	Chlorkalium	0,05 %
Monokaliumphosphat	0,02 %	Monokaliumphosphat	0,02 %
Eisenchlorid (neutralisirt)	Spur.	Eisenchlorid (neutralisirt)	Spur.

V und V a (gleich [ohne Formaldehyd]).

Monokaliumphosphat	0,1 %
Calciumnitrat	0,1 %
Bittersalz	0,025 %
Chlorkalium	0,05 %
Eisenchlorid (neutralisirt)	Spur.

Nach 5 tägiger Versuchsdauer ergab sich bei:

III.	Trockensubstanzvermehrung von	0,07 g	auf	0,10 g
III a.	„	0,07 „	„	0,11 „
IV.	„	0,07 „	„	0,12 „
IV a.	„	0,07 „	„	0,11 „
V.	Trockensubstanzverminderung von	0,07 „	„	0,05 „
V a.	„	0,07 „	„	0,06 „

Unter dem Mikroskop erwiesen sich die Culturen, welche Trockensubstanzvermehrung ergeben hatten, als stärkehaltig, die anderen frei davon.

Auch noch mit einer anderen Alge, nämlich Zygnema, wurden Ernährungsversuche ähnlich den vorigen angestellt.

Eine grössere Menge stärkearmer Zygnema wurde in ein etwa 250 ccm fassendes Glas mit eingeschliffenem Stöpsel gebracht, zu drei Vierteln mit Wasser angefüllt, dem 0,2 % formaldehydschwefligsaures Natron, 0,2 % Dikaliumphosphat, 0,1 % Calciumnitrat und 0,05 % Magnesiumsulfat zugesetzt waren, dann verschlossen und an ein Nordfenster gestellt. Die Algen wuchsen darin sehr schön weiter,

blieben insgesammt normal, vermehrten ihre Masse sehr beträchtlich, wiewohl die Kohlensäure-Assimilation fast ganz wegfiel (während des ganzen Versuchs war keine Gasentwicklung zu bemerken; die Algen lagen am Grunde des Gefässes und richteten sich nach der Seite hin, von welcher das Licht einfiel). Herausgenommene Proben zeigten, dass lebhafte Zelltheilung stattfand, dass die Chlorophyllsterne sich stark ausgebreitet und verzweigt hatten (in Folge guter Ernährung), und dass in jedem Chlorophyllkörper beträchtliche Stärke-Ablagerung stattgefunden hatte. Noch nach 8 Tagen waren die gleichen Verhältnisse zu constatiren; kein einziger Faden war abgestorben; Spaltpilze und Infusorien waren fern geblieben.

Um nun die Kohlensäure-Assimilation völlig auszuschliessen und den Versuch einwandfrei zu gestalten, wurden einige Proben über starker Kalilauge aufgestellt und die äussere Luft vollkommen abgesperrt. Die Nährlösungen wurden mit ausgekochtem Wasser hergestellt und 2 Tage lang in dem kohlensäurefreien Raume belassen, ehe die Versuchsalgen (eine geringe Menge) in dieselben gebracht wurden. Die Flüssigkeiten (je 15 ccm) befanden sich in offenen Glasschälchen.

A (Controlversuch).	B (Controlversuch).
Aqua destillata.	Aqua destillata.
C.	D.
Formaldehydschwefligsaures Natron . . . . 0,1 %	Formaldehydschwefligsaures Kali . . . . 0,1 %
Dinatriumphosphat . . . . . 0,05 %	Dinatriumphosphat . . . . . 0,05 %
in destillirtem Wasser gelöst.	in destillirtem Wasser gelöst.

Nach 5 Tagen zeigten die sämmtlich unter denselben Beleuchtungsverhältnissen gestandenen Zygnemen grosse Unterschiede im Stärkegehalt und sonstigen Aussehen. Die Algen der Versuche A und B waren stärkearm, ihre Chlorophyllkörper geschrumpft, die des Versuchs C sehr reich an Stärke, mit grossen, schön entfalteten Chlorophyllsternen, die des Versuchs D ziemlich reich an Stärke, aber gegen C zurückstehend und auch nicht von so schönem Aussehen der Chlorophyllsterne. Pilze und Infusorien waren nicht da, eine Kohlensäure-Entwicklung durch sie hatte also nicht stattgefunden.

Die Versuche mit Formaldehyd sind von besonderem physiologischen Interesse, weil ein Körper von der Zusammensetzung CH_2O wahrscheinlich das erste Zwischenproduct bei der Umwandlung von Kohlensäure in Stärke durch die Chlorophyllapparate ist (Baeyer).

Assimilation der Kohlensäure durch grüne Pflanzen. Bringt man entstärkte Algen in eine kohlensäurehaltige Atmosphäre bei guter Beleuchtung, so tritt die Stärkebildung binnen wenigen Minuten ein. Die grünen Pflanzen sind auf Kohlensäure-Assimilation vorzüglich eingerichtet, die Kohlensäure-Ernährung gehört bei ihnen zu den normalen Functionen; ausserdem sind sie freilich auch sehr wohl im Stande, organische Kohlenstoff-Quellen zu verarbeiten, — ein Umstand, der früher nicht gewürdigt wurde.

Ueber die Quantität der Kohlensäure-Assimilation gibt in gewissem Grade die Land- und Forstwirthschaft Aufschluss. Nach angestellten Berechnungen kann man annehmen, dass der Wald pro Hektar jährlich ca. 3000 kg Kohlenstoff in Form von Holz und Blättern ablagert. Boussingault hat gefunden, dass ein Hektar gut gedüngten Landes bei einer Fruchtfolge von Kartoffeln, Klee, Weizen und Stoppelrüben, Hafer durchschnittlich im Jahre 2098 kg Kohlenstoff liefert. Der Wald producirt also fast um die Hälfte mehr Kohlenstoff als ein Ackerfeld; bei letzterem ist Kleebebauung am erfolgreichsten.

Nehmen wir an, dass diese Assimilation ausschliesslich Kohlensäure-Assimilation (mit Zutritt von Stickstoff und Mineralstoffen) sei, was freilich nicht zutrifft, da auch organische Substanzen aus dem Ackerboden assimilirt werden, so fragt sich nun, wieviel Trockensubstanz dieser Kohlenstoff entspricht. Da der Kohlenstoff verschiedenartigen Substanzen entstammt (Eiweiss, Kohlhydraten, organischen Säuren etc.), so ist die Berechnung keine sichere. Immerhin dürften wir keinen zu grossen Fehler machen, wenn wir die Trockensubstanz doppelt so hoch rechnen als den Kohlenstoff-Gehalt, also 6000 bezw. 4196 kg Trockensubstanz. Rechnen wir die Assimilationsdauer jährlich zu 100 Tagen, so ergibt sich pro Tag eine Assimilationsgrösse von 60 bezw. 41,96 kg pro Hektar eines Waldes bezw. eines Kleefeldes, Getreidefeldes etc.

Wie viele assimilirende Blattsubstanz auf einem Hektar Waldfläche oder Ackerfläche sich befinde, dürfte nicht gut zu bestimmen sein.

Sachs hat die Assimilationsgrösse von 1 qm Blattfläche pro Stunde bei der Sonnenblume (Helianthus annuus) = 0,914 g Stärke angesetzt, bei Cucurbita 0,68 g, gutes Tageslicht vorausgesetzt. Rechnen wir die Arbeitszeit der assimilirenden Blattsubstanz zu 12 Stunden täglich, so ergibt sich pro Tag bei Helianthus

Art des Organismus	Versuchsdauer	Kohlenstoff-Quelle	Stickstoffquelle	Aussaatmenge	Ernte	Autor
Hefe	10 Tage	Rohrzucker	Ammoniak als weinsaures Salz	0,732 g Trockensubstanz entsprechend	eine 2,836 g Tr.-S. entspr. Hefemenge	Naegeli und Loew
Bakterien	56 „	Weinsäure als Kaliumsalz	Natriumnitrat	Keine Aussaat	0,113 g	„ „
Schimmel	?	Glycerin	„	„	1,770 g	„ „
„	?	„	Ammonnitrat	„	1,655 g	„ „
„	?	„	Harnstoff	„	3,519 g	„ „
„	41 Tage	Zucker	Methylamin	„	3,230 g Tr.-S. entsprechend	„ „
„	28 „	Glycerin	Ammonsulfat	2 mg Trockensubstanz entsprechend	2,000 g Tr.-S.	Bokorny
Hefe	22 Stunden	Glycerin 5% (ohne Zusatz ein. gärfähigen Zuckers, also ohne Gärung)	Keine	50 g Presshefe v. 14,18 g Tr.-S.	15,1 g Tr.-S.	„
„	„	„ 10% (ohne Zusatz ein. gärfähigen Zuckers, also ohne Gärung)	„	„	15,5 „ „	„
„	„	„ 15% (ohne Zusatz ein. gärfähigen Zuckers, also ohne Gärung)	„	„	18,8 „ „	„
„	24 Stunden	Milchzucker	„	50 g Presshefe v. 14,13 g Tr.-S.	16,3 „ „	„
„	2 Tage	Pepton (mit Luftdurchleitung, ohne Gärung)	Pepton	1 g Presshefe v. 0,31 g Tr.-S.	0,80 „ „	„
„	„	Pepton + Rohrzucker (also mit Gärung)	„	„	0,88 „ „	„
„	„	Rohrzucker (starke Gärung)	Asparagin	„	0,62 „ „	„
„	„	„	Ammonsulfat	—	0,55 „ „	„
„	„	„	Pepton	—	0,88 „ „	„
Spirogyra nitida	10 Tage	formaldehydschwefligsaures Natron 0,1%	Calciumnitrat	Algenmenge v. 0,21 g Tr.-S.	0,26 „ „	„
Kleinere Spirogyren-Art	9 Tage	formaldehydschwefligsaures Natron 0,1%	„	„ „ 0,09 „ „	0,12 „ „	„
„	„	formaldehydschwefligsaures Natron 0,2%	„	„ „ 0,07 „ „	0,11 „ „	„
„	„	formaldehydschwefligsaures Natron 0,3%	„	„ „ 0,07 „ „	0,12 „ „	„
Sonnenrose (Helianthus annuus)	1 Stunde	Kohlensäure	—	1 Quadratmeter Blatt	0,914 g Stärke	Sachs
Kürbis (Cucurbita)	„	„	—	—	0,68 „ „	„

10,968 g Stärke, bei Cucurbita 8,16 g. Da 1 qm Blatt von Helianthus und von Cucurbita ca. 200 g Trockensubstanz entspricht, so würde sich also die Trockensubstanz in einem Tag mindestens von 100 auf 150 bezw. 104 g vermehren; bei geringerer Berechnung der Blatttrockensubstanz von 1 qm Blattfläche würde sich ein etwas höherer Procentsatz des Trockensubstanzzuwachses herausrechnen.

Keinenfalls aber wird hier je die Höhe der Trockensubstanzvermehrung erreicht, die wir bei Pilzen beobachten; bei letzteren beträgt sie oft in einem Tag so viel, dass die Trockensubstanz verdoppelt ist.

Auf Seite 473 befindet sich eine übersichtliche Darstellung einiger quantitativer Resultate bei Ernährung von Pilzen, Algen, Blüthenpflanzen.

Ueber die Beziehungen der galvanischen Reaction zur angeborenen und erworbenen Taubstummheit.

Von

Dr. **G. Alexander**, Assistent der Ohrenklinik an der Universität zu Wien
und
Dr. **A. Kreidl**, a. ö. Prof. der Physiologie an der Universität zu Wien.

Unsere anatomisch-physiologischen Studien an Thieren mit angeborenen Anomalien des Ohrlabyrinthes (1) boten Veranlassung, diese Thiere in ihrem physiologischen Verhalten mit taubstummen Menschen in Parallele zu bringen. Ergab sich hierbei einerseits eine auffallende Uebereinstimmung (fehlender Drehschwindel, mangelhaftes Gleichgewichtsvermögen, eigenthümlicher Gang), so blieb es andererseits bemerkenswerth, dass alle von uns untersuchten Thiere normale galvanische Reaction zeigten, während nach den vorhandenen Untersuchungen [Pollak (6), Strehl (8)] eine bestimmte Anzahl von Taubstummen (nach Pollak 30 %, nach Strehl 10,8 %) sich als galvanische Versager herausstellten.

Zur Aufklärung dieses differenten Verhaltens zogen wir nun den Umstand heran, dass es sich bei den Tanzmäusen durchwegs um Thiere mit angeborenen Veränderungen handelt, während sich unter den von Pollak und Strehl untersuchten Taubstummen entsprechend dem Materiale und nach dem örtlichen Verhalten der Taubstummenanstalten sowohl von Geburt aus Taube als auch später Ertaubte befanden.

Wir unternahmen daraufhin schon in unserer eben erwähnten Arbeit eine Gruppirung der von Pollak untersuchten Taubstummen nach erworbener und angeborener Taubstummheit. Die nöthigen anamnestischen Angaben sind allerdings in den Pollak'schen Tabellen nicht enthalten, wohl aber in einer Arbeit Kreidl's, der ungefähr zwei Jahre früher bei seinen Untersuchungen das Material derselben Taubstummenanstalt verwendet hatte. Von den 82 von Pollak untersuchten Zöglingen sind 64 schon in der Kreidl'schen Arbeit genannt, und davon 43 neben Anderem mit der Angabe, ob an-

geborene oder erworbene Taubstummheit vorliegt, namentlich angeführt. Von diesen 43 unzweideutigen Fällen boten 23, d. h. 53 % normale galvanische Reaction, während dieselbe bei 20, d. h. 47 % fehlte.

Wir betrachteten nunmehr die Fälle angeborener Taubstummheit für sich und fanden unter 19 Fällen angeborener Taubstummheit 16 Fälle, d. h. ca. 84 %, mit normaler und bloss 3, d. h. 16 %, mit fehlender galvanischer Reaction. Unter 24 Fällen erworbener Taubstummheit dagegen zeigten 17 Fälle, d. h. 71 %, keine galvanische Reaction, während 7 Fälle, d. h. 29 %, normales Verhalten boten.

Damit constatirten wir, dass sich die Menschen mit angeborener Taubstummheit in 84 % der Fälle bezüglich der galvanischen Reaction ebenso verhalten wie die Tanzmäuse, d. h. wie Thiere mit angeborenen Labyrinthanomalien, und so konnten wir in unserer Arbeit (S. 556) feststellen: „Wir sehen somit den Unterschied, der sich anfangs scheinbar ergibt, nur in geringerem Grade bestehen, und es ist darnach der Satz erlaubt, dass nach dem Ausfalle der functionellen Untersuchung zwischen Taubstummen und Tanzmäusen, soweit es sich um angeborene Defecte handelt, nur geringgradige Unterschiede bestehen.

Aus diesen Befunden geht aber weiter hervor, dass man förderhin bei der Untersuchung von Taubstummen die congenitale und die erworbene Taubstummheit wird strenge sondern müssen, und schon nach den vorhandenen Zahlen erscheint für die angeborene Taubstummheit die normale galvanische Reaction als charakteristischer Unterschied gegenüber der ausfallenden galvanischen Reaction bei erworbener Taubstummheit, ein Umstand, welcher gewiss nicht ohne klinische Bedeutung ist."

Zur Klarstellung dieses letzten Momentes, der möglichen klinischen Verwerthbarkeit der galvanischen Prüfungsmethode an Taubstummen bezüglich der Entscheidung, ob angeborene oder erworbene Taubstummheit vorliegt, haben wir uns entschlossen, eine grössere Anzahl von Taubstummen auf diese Frage hin zu untersuchen, um derart die uns zur Verfügung stehenden Zahlen und ihre statistische Verwerthbarkeit zu erhöhen. Das Resultat dieser Untersuchungen bildet den Inhalt der vorliegenden Mittheilung.

Zur Beobachtung stand uns das Zöglingsmaterial der Kaiserlichen Taubstummenanstalt in Wien zur Verfügung. Wir nehmen

Gelegenheit, der hohen Behörde, sowie insbesondere dem Director der Anstalt, Herrn Karl Fink, durch dessen liebenswürdiges Entgegenkommen die Durchführung der Untersuchung möglich wurde, sowie jedem einzelnen der Herren Lehrer der Anstalt, welche Zeit und Mühe nicht scheuten, uns bei unserer Arbeit zu unterstützen, hierfür auch an dieser Stelle unseren besten Dank auszudrücken.

Zur Untersuchung gelangten 64 Zöglinge im Alter von 8 bis 18 Jahren. Die Versuchsanordnung war dieselbe, welche seiner Zeit von Pollak (6) verwendet und beschrieben worden ist. Von einer Tauchbatterie mit 32 kleinen Chromsäure-Elementen wurde der Strom, dessen Intensität durch ein Ampèremeter jeweilig bestimmt werden konnte, durch einen Stromwender und Rheostaten zu den Polen einer Pollak'schen Elektrode geleitet. Diese letztere besteht aus einem federnden Stahlbogen, an dessen Mitte ein Holzgriff und an dessen Enden die Elektroden isolirt befestigt sind.

Zur leichteren Unterscheidung der Pole wurden die Elektrodenplatten ungleich gross gewählt, wobei die kleinere immer dem gleichen (linken) Ohre anlag und bei gewöhnlicher Stromrichtung die Anode darstellte.

Die Zöglinge wurden sitzend untersucht, wobei Herr Lehrer Adolf Gabriel die Freundlichkeit hatte, die Kinder zu beaufsichtigen bezw. unseren Verkehr mit denselben zu vermitteln.

Bei der galvanischen Reaction, bei welcher wir, wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht, Stromstärken bis zu 30 Milli-Ampère verwendeten, haben wir nur auf die Kopfbewegungen bei Schliessung und Oeffnung des constanten Stromes Rücksicht genommen und diejenige Reaction als normale bezeichnet, bei welcher bei Stromschluss Neigung des Kopfes zur Anode und bei Stromöffnung zur Kathode erfolgte.

Wo Dauerreaction (Fallen nach der Anode) zufällig in Erscheinung trat, ist dieselbe in der Tabelle verzeichnet. Einen Ueberblick über unsere Untersuchungen liefert die folgende Tabelle.

Bevor wir auf die detaillirte Besprechung unseres Materiales näher eingehen, wollen wir zunächst mit Rücksicht auf die Angaben von Pollak und Strehl die Gesammtzahl der untersuchten Taubstummen mit Beziehung auf den Ausfall der galvanischen Reaction betrachten.

A. Fälle von angeborener Taubheit.

Namen	Alter in Jahren	Anamnese	Galvanische Reaction	Anmerkung
1. Kühn, Adolf	8	Rhachitis, Zangengeburt	Normal	Bei 8 Milli-Ampère
2. Neumüller, Anton	8	—[1])	Normal	Bei 18 Milli-Ampère
3. Rückel, Anton	9	—	Normal	Bei 20 Milli-Ampère
4. Kaschnik, Thomas	10	Hirndruck bei Geburt	Normal	Bei 5 Milli-Ampère
5. Kronberger, August	10	—	Unbestimmt	Unsichere Reaction selbst bei starken Strömen[2])
6. Schwarz, Johann	10	—	Normal	Bei 3—4 Milli-Ampère
7. Weigl, Heinrich	10	—	Normal	Bei über 20 Milli-Ampère
8. Goldschmied, Egon	13	—	Normal	Schon bei schwachen Strömen deutliche Reaction, bei starken Strömen Fallen nach der Anode
9. Pachmann, Stephan	14	—	Normal	Bei 20 Milli-Ampère
10. Bajatz, Uros	14	Schwestern von Geburt taubstumm	Keine	Bei 30 Milli-Ampère
11. Klein, Franz	17	—	Keine	Zuckungen im Facialisgebiet bei starken Strömen
12. Krämer, Gustav	18	—	Normal	Bei starken Strömen (über 20 Milli-Ampère) Fallen nach der Anode bei Dauerreaction
13. Witt, Mathilde	10	—	Normal	Bei 10 Milli-Ampère
14. Jenisch, Amalie	12	—	Normal	Bei starken Strömen Fallen nach der Anode
15. Neumann, Klara	10	—	Normal	Bei 10 Milli-Ampère
16. Haberreiter, Wilhelmine	15	—	Unbestimmt	Neigen des Kopfes nach links, unabhängig von Stromwendung
17. Hannes, Marie	13	Worthörend seit einem Jahre auf verstärkte Redestimme	Normal	Bei 10 Milli-Ampère
18. Müller, Justine	18	—	Unbestimmt	Bei 20 Milli-Ampère Zuckungen im Facialisgebiet
19. Stoller, Marie	18	—	Normal	Bei 20 Milli-Ampère Fallen nach der Anode

B. Fälle von erworbener Taubheit[3]).

1. Kluge, Franz	12	Masern im 1. Lebensjahr	Keine	Bei 30 Milli-Ampère
2. Knotek, Emil	10	Gehirnhaut-Entzündung im 2. Lebensjahr	Unbestimmt	Bei mehr als 7 Milli-Ampère
3. Mayer, Josef	11	Scharlach im 4. Jahr	Keine	Bei 24 Milli-Ampère
4. Feix, Josef	11	Gehirnhaut-Entzündung im 2. Lebensjahr	Normal	Bei 5 Milli-Ampère
5. Hawel, Victor	11	Masern im 2. Jahr	Unbestimmt	Bei 25 Milli-Ampère
6. Ernst, Peter	12	Besuchte die Schule der Vollsinnigen angeblich durch 3 Jahre, hernach eitrige Mittelohrenentzündung, hochgradig schwerhörig	Normal	Bei 1—2 Milli-Ampère, bei 4—5 Milli-Ampère Fallen nach der Anode
7. Beller, Alois	14	Durch Impfung im 2. Jahre	Normal	Schon bei schwachen Strömen
8. Ecker, Johann	13	Nicht eruirbar	Unbestimmt	Bei 15–18 Milli-Ampère
9. Turecky, Franz	10	Gehirnhaut-Entzündung im 1. Jahr	Keine	Bei 24 Milli-Ampère
10. Vojt, Johann	11	Gehirnhaut-Entzündung im 4. Jahr	Keine	Bei 22 Milli-Ampère
11. Hradezky, Alois	11	Fraisen im 2. Jahr	Unbestimmt	Bei 18 Milli-Ampère
12. Schaukal, Carl	11	Fraisen im 1. Jahr	Unbestimmt	Bei 25 Milli-Ampère
13. Bezpaletz, Michael	17	Fraisen im 2. Jahr	Keine	Bei mehr als 20 Milli-Ampère
14. Ebner, Ludwig	14	Fall im 2. Jahr	Normal	Bei mehr als 7 Milli-Ampère
15. Schleser, Adolf	12	Scharlach im 5. Jahr	Keine	Bei 22 Milli-Ampère
16. Suchanek, Leopold	16	Influenza im 3. Jahr	Keine	Bei 25 Milli-Ampère
17. Volkmann, Robert	12	Masern im 1. Jahr	Normal	Bei 3–4 Milli-Ampère
18. Cizek, Franz	17	Eitrige Mittelohrenentzündung im 8. Jahr; vocalhörend	Unbestimmt	Bei 20—25 Milli-Ampère
19. Karst, Eugen	18	Fall im 3. Jahr; a, e, i, r hörend	Normal	Bei 5 Milli-Ampère
20. Kuhnert, Anton	14	Gehirnerschütterung und Fraisen im 1. Lebensjahr	Keine	Bei 22 Milli-Ampère, Zuckungen im Facialisgebiet
21. Maiss, Micislaus	16	Gehirnhaut-Entzündung im 2. Jahr, vocalhörend	Normal	Bei 2—3 Milli-Ampère, bei 12 Milli-Ampère Fallen nach der Anode
22. Petrui, Emil	13	Diphtherie im 2. Jahr	Normal	Bei 2—3 Milli-Ampère, bei starken Strömen Fallen nach der Anode
23. Resch, Michael	13	Gehirnhaut-Entzündung im 8. Jahr	Unbestimmt	Bei 10 Milli-Ampère einseitige Reaction (Kopfneigung nach rechts)

1) In den Fällen, in welchen wir keine weiteren Daten beifügen, enthielt die Anamnese bloss die Angabe, das Kind sei von Geburt taub.

2) Unter „starken Strömen" sind Stromstärken von 20—30 Milli-Ampère zu verstehen.

3) In diese Tabelle sind auch die beiden Fälle ohne Anamnese (Nr. 8 und 45) aufgenommen.

Namen	Alter in Jahren	Anamnese	Galvanische Reaction	Anmerkung
24. Walland, Josef	15	Fraisen im 2. Jahr	Keine	Bei über 20 Milli-Ampère
25. Löwy, Edgar	15	Scharlach im 3. Jahr	Normal	Bei 3—4 Milli-Ampère
26. Rein, Rudolf	18	Gehirnhaut-Entzündung im 2. Jahr	Keine	Bei starken Strömen
27. Veigl, Johann	18	Einzwängen eines Hollunderrohres in's rechte Ohr mit nachfolgender Blutung nach dem 4. Jahr, vocalhörend	Unbestimmt	Bei starken Strömen
28. Bergold, Franz	18	Gehirnhaut-Entzündung im 3. Jahr	Keine	Bei starken Strömen
29. Drachsler, Andreas	18	Fall im 2. Jahr	Normal	Bei 3—4 Milli-Ampère, bei starken Strömen Fallen nach der Anode
30. Kaiser, Josef	18	Fraisen im 2. Jahr	Keine	Bei starken Strömen Zuckungen im Facialisgebiet
31. Lauterböck, Karl	16	Fall im 1. Lebensjahr	Keine	Bei starken Strömen
32. Prochazka, Heinrich	16	Scharlach und Mittelohrentzündung im 5. Jahr	Keine	Bei starken Strömen
33. Becker, Friederike	8	Fall im 1. Jahr	Normal	Bei 1—2 Milli-Ampère
34. Nagel, Hermine	10	Kopfkrankheit im 4. Jahr	Keine	Bei mehr als 20 Milli-Ampère
35. Stachetsberger, Marianne	9	Sturz im 2. Jahr	Normal	Bei 3—4 Milli-Ampère
36. Jungmeister, Aloisia	10	Gehirnhaut-Entzündung im 5. Jahr	Keine	Schmerzensäusserung während der Galvanisation
37. Hartmann, Leopoldine	15	Fall im 2. Jahr, vocalhörend	Keine	Bei 20 Milli-Ampère Zuckungen im Facialisgebiet
38. Kobler, Barbara	14	Gehirnhaut-Entzündung im 1. Jahr	Unbestimmt	Bei starken Strömen
39. Staniek, Beata	14	Fraisen im 2. Jahr	Keine	Bei 20 Milli-Ampère
40. Steinbach, Maria	13	Kopfleiden im 4. Jahr	Unbestimmt	Bei 4—5 Milli-Ampère einseitige Reaction
41. Löfler, Olga	14	Gehirnprocess im 12. Jahr	Unbestimmt	Bei starken Strömen einseitige Reaction
42. Eidler, Juliane	17	Fraisen im 2. Jahr	Keine	Bei 20 Milli-Ampère Zuckungen im Facialisgebiet
43. Rummel, Amalia	16	Typhus im 4. Jahr	Keine	Bei 22 Milli-Ampère Zuckungen im Facialisgebiet
44. Mälcher, Margarete	15	Scharlach und Gehirnhaut-Entzündung im 2. Jahr, vocalhörend	Keine	Bei starken Strömen
45. Georgi, Karl Franz v.	9	Nicht eruirbar	Unbestimmt	Scheint vorhanden zu sein, wegen Schmerzäusserung bei 3—4 Milli-Ampère wird die Prüfung nicht fortgesetzt

Unter den von uns untersuchten 64 Zöglingen zeigten 26 normale, 15 unbestimmte Reaction, 23 liessen jedwede Reaction vermissen, d. h. unter 64 Taubstummen zeigten 40,6 % normale, 23,4 % unbestimmte und 36 % keine galvanische Reaction.

Vergleichen wir diese Zahlen mit den Befunden von Pollak, wobei wir lediglich seine Angaben bezüglich der Kopfbewegungen an den 64 auch von Kreidl untersuchten Taubstummen berücksichtigen, so ergibt sich Folgendes:

Von den 64 untersuchten Individuen boten 36, d. i. 56,2 %, normale, 5, d. i. 7,8 %, zweifelhafte und 23, d. i. 36 %, keine Kopfbewegung als galvanische Reaction.

Wir können somit die Pollak'schen Befunde vollständig bestätigen, da wir unter unserem Untersuchungsmateriale gleichfalls 23 Fälle, d. h. 36 %, ohne galvanische Reaction gefunden haben. Wir bemerken dies hier ausdrücklich, da Strehl bei seinen Taubstummen weniger, nämlich nur 14,89 resp. 27,1 % Versager[1]) gefunden hat.

Aus der tabellarischen Uebersicht ergibt sich, dass von den 64 von uns untersuchten Taubstummen für unsere Frage 62 statistisch verwerthbar sind, da von 2 keine anamnestischen Daten vorliegen. Diese 62 Taubstummen umfassen 19 Zöglinge mit angeborener und 43 mit erworbener Taubstummheit. Bei den letzteren trat die Taubstummheit ein

im 1.	Lebensjahre	bei	8	Zöglingen,
„ 2.	„	„	18	„
„ 3.	„	„	4	„
„ 4.	„	„	5	„
nach dem 4.	„	„	8	„

Von den 19 von Geburt Tauben gaben 14 normale, 3 unbestimmte bezw. einseitige und 2 keine galvanische Reaction, wonach unter 19 Fällen congenitaler Taubheit 73,6 % normale, 15,8 % zweifelhafte und 10,6 % keine galvanische Reaction zukommt.

Schalten wir die zweifelhaft Reagirenden aus, so erhalten wir unter 16 von Geburt Tauben

bei 14, d. i. 87,5 %, normale und
bei 2, d. i. 12,5 %, keine Reaction.

1) Bezüglich der Kopfbewegungen.

Stellen wir die Fälle normaler Reaction allen anderen gegenüber, so zeigen sich unter 19 Fällen angeborener Taubstummheit:

73,6 % mit normaler und
26,4 % ohne normale Reaction.

Von den 43 Zöglingen mit erworbener Taubheit liefern 12 normale, 10 zweifelhafte, bezw. einseitige und 21 keine galvanische Reaction, d. h. unter 43 Fällen erworbener Taubstummheit haben

27,9 % normale,
23,3 % zweifelhafte und
48,8 % keine galvanische Reaction.

Bei Ausschaltung der unbestimmt Reagirenden ergeben von 33 erworben Taubstummen

12, d. h. 36,3 %, normale,
21, d. h. 63,7 %, keine Reaction.

Fassen wir die Fälle mit zweifelhafter und die ohne Reaction gegenüber den Fällen mit normaler galvanischer Reaction als eine einzige Gruppe zusammen, so ergeben von 43 Fällen erworbener Taubstummheit 12, d. h. 27,9 %, normale und 31, d. h. 72,1 %, keine normale Reaction.

Gruppiren wir das Material der erworbenen Taubstummheit nach dem Lebensjahre, in welchem dieselbe erworben wurde, so gelangen wir zu folgenden Zahlen:

Von den 8 im 1. Lebensjahre Ertaubten zeigen 2, d. h. 25 %, normale, 2, d. h. 25 %, zweifelhafte und 4, d. h. 50 %, keine Reaction, bezw. 6, d. h. 75 %, keine normale galvanische Reaction.

Unter 18 im 2. Lebensjahre Ertaubten ergaben 7, d. h. 38,3 %, normale, 3, d. h. 16,8 %, zweifelhafte und 8, d. h. 44,4 % keine, bezw. 11, d. h. 61,2 %, keine normale Reaction.

Von 4 im 3. Lebensjahre Ertaubten zeigen 2, d. h. 50 %, normale, 2, d. h. 50 %, keine galvanische Reaction.

Unter 5 im 4. Lebensjahre taubstumm Gewordenen ist keiner, der normale galvanische Reaction zeigt, 4, d. h. 80 %, zeigen keine, 1, d. h. 20 %, zeigt zweifelhafte Reaction.

Nach dem 4. Lebensjahr ist die Taubstummheit von 8 Zöglingen acquirirt worden. Darunter finden sich 1, d. h. 12,5 %, mit normaler, 4, d. h. 50 %, mit zweifelhafter und 3, d. h. 37,5 %, ohne Reaction, bezw. 7, d. h. 87,5 %, ohne normale Reaction.

Stellen wir die hinsichtlich der galvanischen Reaction bei er-

worbener Taubstummheit gewonnenen Zahlen denjenigen bei angeborener Taubstummheit gegenüber, so zeigen:

Bei angeborener Taubstummheit:
73,6 % normale, 15,8 % zweifelhafte,
10,6 % keine, bezw.
26,4 % keine normale galvanische Reaction.

Bei erworbener Taubstummheit:
27,9 % normale, 23,3 % zweifelhafte,
48,8 % keine, bezw.
72,1 % keine normale galvanische Reaction.

Daraus ergibt sich ohne Weiteres, dass die Zahl der galvanisch nicht Normalen bei erworbener Taubstummheit eine ungleich grössere ist als bei der angeborenen, so dass im procentischen Verhältniss bei der angeborenen Taubstummheit ungefähr eben so viele galvanisch Normale (73,6 %) gefunden werden als bei der erworbenen nicht Normale (72,1 %).

Berücksichtigt man nun, was die normale Reaction bei erworbener Taubstummheit anlangt, die verschiedenen Altersstufen, so sind die anamnestischen Angaben bezüglich der Acquisition der Taubstummheit während der beiden ersten Lebensjahre häufig unverlässlich, und es ist nicht unwahrscheinlich, dass es sich dabei unter anderen um taubgeborene Individuen handelt, deren Taubstummheit erst später von der Umgebung bemerkt und auf eine intercurrente Erkrankung der ersten Lebensjahre zurückgeführt worden ist[1]).

---

1) Dies ist um so leichter möglich, da es sich gerade hier häufig um nicht normale, in der Entwicklung zurückgebliebene Kinder handelt, und die nächste Umgebung dieser Kinder, besonders die Mütter, eher geneigt sind, die sich später herausstellende Taubstummheit auf eine sichtbare Erkrankung zurückzuführen, als sie als angeboren aufzufassen.

Die zeitlichen Angaben bezüglich der Ertaubung in späteren Lebensaltern erscheinen uns dagegen verlässlich. Denn bis zu dieser Zeit ist das Vorhandensein des Hörvermögens und sein späterer Verlust selbst bei mangelhafter Beobachtung leicht zu constatiren gewesen. In ähnlichem Sinne äussert sich Mygind (4): „Alle Statistiken, welche ganze Bevölkerungen betreffen, haben den Mangel, dass viele kleine taubstumme Kinder nicht mitgezählt sind, weil im frühesten Kindesalter die Taubstummheit schwer zu constatiren ist. Erst wenn im 2. Lebensjahr die Sprache beim Kinde sich nicht entwickelt, wird in der Regel die Umgebung des Kindes auf die Taubheit desselben aufmerksam; oft aber vergeht noch längere Zeit, ehe die Taubheit der Kinder wahrgenommen wird."

Auf diesen Umstand möchten wir die relativ grosse Zahl von galvanisch normalen Fällen unter den im ersten und zweiten Lebensjahre Ertaubten zurückführen.

Von den im dritten Lebensjahre Ertaubten zeigten zwei normale Reaction, von diesen ist einer (Tab. B. Fall 19) vocalhörend, im strengen Sinne nicht taubstumm, sein galvanisch normales Verhalten daher nicht überraschend.

Das Gleiche gilt auch von dem galvanisch normalen, angeblich im achten Lebensjahre ertaubten Ernst Peter (Tab. B Fall 6), der nicht taubstumm, sondern nur hochgradig schwerhörig ist.

Sehen wir somit von diesen nicht Taubstummen ab, so erhalten wir unter 41 nach der Geburt Ertaubten nur 10, d. h. 24,4 % mit normaler galvanischer Reaction.

Verzichten wir aber aus den oben angeführten Gründen auf unser Material der im ersten und zweiten Lebensjahre Ertaubten, so erhalten wir unter 15 Fällen sicher nicht congenital Taubstummer 1, d. h. 6,7 %, mit normaler, 5, d. h. 33,3 %, mit zweifelhafter und 9, d. h. 60,0 %, ohne Reaction, bezw. 14, d. h. 93,3 %, ohne normale Reaction.

Betrachten wir die Kreidl-Pollak'schen Fälle nach den gleichen Gesichtspunkten und beschränken wir uns wieder, wie bei unserer eigenen Untersuchung, auf die Beurtheilung der Reaction nach den Kopfbewegungen, so erhalten wir folgende Zahlen:

Unter den 52 verwerthbaren Fällen sind 26 Individuen mit angeborener und 26 mit erworbener Taubstummheit. Von den 26 von Geburt Taubstummen zeigen 17, d. h. 65,3 %, normale, 6, d. h. 23 %, keine und 3, d. h. 11,7 %, zweifelhafte, bezw. 9, d. h. 34,7 %, keine normale Reaction.

Von 26 nach der Geburt Ertaubten boten 8, d. h. 30,8 %, normale, 16, d. h. 61,6 %, keine und 2, d. h. 7,6 %, zweifelhafte, bezw. 18, d. h. 69,2 %, keine normale Reaction.

Nach dem Jahre des Eintrittes der Ertaubung geordnet, ergibt sich Folgendes:

Im ersten Lebensjahre sind 8 Zöglinge taubstumm geworden, davon zeigen 4, d. h. 50 %, normale, 3, d. h. 37,5 %, keine und 1, d. h. 12,5 %, zweifelhafte, bezw. 4, d. h. 50 %, keine normale Reaction.

Von 5 im zweiten Lebensjahre Ertaubten boten 4, d. h. 80 %, keine und 1, d. h. 20 %, zweifelhafte Reaction.

Von den im dritten Lebensjahre Ertaubten bot keiner normale Reaction.

Ein im vierten Lebensjahre einseitig Ertaubter reagirt normal.

Von 5 nach dem vierten Lebensjahre taubstumm Gewordenen zeigen 4, d. h. 80 %, keine und 1, d. h. 20 %, normale galvanische Reaction.

Zwei Kinder, bei denen die Zeit des Eintrittes der sicher erworbenen Taubstummheit nicht bekannt ist, bieten normale galvanische Reaction.

Verzichten wir zunächst, wie oben bei der Zusammenstellung unserer eigenen Befunde, auf das Material der in den beiden ersten Lebensjahren Ertaubten und sehen wir von einem Zögling mit normaler Reaction, der Vocàlgehör besitzt, ab, so ergibt sich, dass unter 12 Fällen erworbener Taubstummheit 3, d. h. 25 %, normale und 9, d. h. 75 %, keine galvanische Reaction zeigten.

Aus der Vereinigung unserer und der Kreidl-Pollak'schen Fälle resultiren 114 Fälle von Taubstummheit. Darunter befinden sich 45 von Geburt Taubstumme und 69 nach der Geburt Ertaubte.

Von den 45 congenital Tauben gaben:

31, d. h. 63,8 %, normale galvanische Reaction,
8, d. h. 17,8 %, negative " "
6, d. h. 13,4 %, zweifelhafte " "
bezw. 14, d. h. 31,2 %, keine normale Reaction.

Von den 69 nach der Geburt ertaubten Individuen gaben:

20, d. h. 28,9 %, normale galvanische Reaction,
37, d. h. 53,7 %, negative " "
12, d. h. 17,4 %, zweifelhafte " "
bezw. 49, d. h. 71,1 %, keine normale galvanische Reaction.

Nach Ausschaltung der im 1. und 2. Lebensjahre Ertaubten sowie der Vocalhörenden, stehen uns 27 Fälle erworbener Taubstummheit zur Verfügung. Von diesen zeigen:

4, d. h. 14,8 %, normale galvanische Reaction,
18, d. h. 66,7 %, keine " "
5, d. h. 18,5 %, zweifelhafte " "
bezw. 23, d. h. 85,2 %, keine normale galvanische Reaction.

Darnach ergeben sich folgende Sätze:

I. Bei angeborener Taubstummheit überwiegen bei Weitem die Fälle mit normaler galvanischer Reaction über die Zahl derjenigen mit negativer oder zweifelhafter Reaction.

II. Bei erworbener Taubstummheit zeigt nur eine geringe Zahl der Fälle normale galvanische Reaction, die nicht normal Reagirenden befinden sich in der Ueberzahl.

III. Nach dem Zahlenverhältnisse befinden sich unter den von Geburt Tauben ungefähr eben so viele galvanisch Normale (68,8 %), als unter den nach der Geburt Ertaubten nicht Normale (71,1 %).

Es fragt sich nun, welche Gültigkeit diese Zahlen besitzen, und unter welchen Umständen bei irgend einer Untersuchung an einem Taubstummenmateriale eine Verschiebung der Zahlen zu erwarten wäre. Hierbei kommen im Wesentlichen zwei Momente in Betracht: Die anamnestisch-eruirbaren Thatsachen und die Methode der galvanischen Untersuchung. Was diese Letztere anlangt, so wäre ja nur daran zu denken, den zum Hervorbringen der Reaction verwendeten Stromstärken eine besondere Bedeutung beizulegen. Dies ist aber nicht möglich, da die Stromstärke sich nach der Grösse des im einzelnen Falle vorhandenen Widerstandes richten muss und dieser letztere u. A. von äusseren Umständen (Alter, Beschaffenheit der Haut, der Knochen u. s. w.) abhängig ist.

In Bezug auf die Anamnese haben wir oben ausgeführt, dass, was die in den beiden ersten Lebensjahren erworbene Taubstummheit anlangt, sehr leicht und besonders bei einer nicht sorgfältigen und darauf abzielenden Beobachtung seitens der Umgebung bezw. der Angehörigen des Kindes Fehler unterlaufen. Werden ja taubstumme Kinder vielfach von vornherein als minderwerthig, ja als Schande betrachtet und seitens der Eltern sich selbst überlassen. Ausserdem liegt (s. o.) sehr häufig die Tendenz vor, angeborene Defecte zu bemänteln, sie auf spätere Ursachen zurückzuführen und als erworben hinzustellen.

Schliesslich ist es nicht von der Hand zu weisen, dass auch, was die Angabe der angeborenen Taubheit anlangt, bei der Umgebung des Kindes leicht Irrthümer vorkommen, indem Kinder,

die in frühen Lebensjahren Taubstummheit acquirirten, als von Geburt taubstumm angesehen werden können[1]).

Den Anspruch auf grösste Glaubwürdigkeit haben demnach die anamnestischen Angaben von Fällen, in denen es sich um Ertaubung in späteren (nach dem zweiten) Lebensjahren handelt. Die Fälle von nach dem zweiten Lebensjahre erworbener Taubstummheit umfassen daher für die Frage des Zusammenhanges der Taubstummheit mit galvanischer Reaction das werthvollste Material.

Dass dies thatsächlich der Fall ist, beweisen unsere eigenen Beobachtungen: Denn während bei Verwerthung des gesammten Materials der als erworben angegebenen Taubstummheit 71,1 % galvanisch nicht normal reagiren, steigt die Zahl der galvanisch nicht Normalen auf 85,2 % (eigene und Kreidl-Pollak'sche Fälle), ja bis auf 93,4 % (eigene Fälle), wenn wir die Fälle ausschalten, in welchen die Anamnese eine in den beiden ersten Lebensjahren acquirirte Taubstummheit ergibt.

Allerdings wird hierbei bei unserem Materiale in Anbetracht der verhältnissmässig grossen Zahl der Fälle, auf welche wir dann verzichten müssen, der Werth der Statistik beeinträchtigt, und es wäre daher zunächst wünschenswerth, dass an einer möglichst grossen Zahl anamnestisch einwandsfreier Fälle Untersuchungen im Sinne der vorliegenden unternommen würden.

Folgt daraus einerseits, dass an einem sicheren und umfangreichen Material unsere Zahlen möglicher Weise in dem Sinne verschoben werden, dass unter den Fällen angeborener Taubstummheit die Zahl der galvanisch normal Reagirenden und unter den Fällen erworbener Taubstummheit die Zahl der galvanisch Negativen eine Erhöhung erfährt, so ist andererseits schon nach einigen unserer Fälle sicher, dass unter den von Geburt Tauben sich galvanisch Negative (s. Tabelle A Nr. 10) und unter den später Ertaubten galvanisch Normale (s. Tabelle B Nr. 25) finden.

Ausserdem kommen ja, wie für die Häufigkeit der Taubstummheit überhaupt, auch bezüglich der congenitalen Taubheit geographische und klimatische Verhältnisse in Betracht.

---

1) Vgl. Politzer (5): „Dass die in den Taubstummenanstalten gemachten Angaben oft unzuverlässig sind, ergibt sich daraus, dass ich bei einer Anzahl von Fällen, die als angeboren Taubstumme bezeichnet wurden, Veränderungen im Gehörorgane (ausgedehnte Perforationen, Adhäsionen des Trommelfelles etc.) vorfand, welche die Taubstummheit zweifellos als erworben erscheinen lassen."

Dass die von uns untersuchten Tanzmäuse ausnahmslos normale galvanische Reaction zeigen, während dies bei den von Geburt taubstummen Menschen nur in ungefähr 70 % der Fälle statt hat, ist darauf zurückzuführen, dass bei der angeborenen menschlichen Taubstummheit Factoren zur Geltung kommen, welche bei den Thieren, zumal bei den Tanzmäusen, bei denen sich die Labyrinth-Anomalie stets und unmittelbar vererbt, nicht in Betracht zu ziehen sind.

In diese Frage wird erst eine genügend grosse Zahl histologisch genau untersuchter Fälle von unzweifelhaft angeborener Taubstummheit beim Menschen volle Klarheit bringen. Allein eine Reihe von Thatsachen ergibt sich schon nach den bisher in der Literatur bekannten Fällen anatomisch untersuchter Taubstummheit, die Mygind (4) zusammengestellt hat.

Unter den von Mygind gesammelten 118 Sectionsbefunden, die allerdings zum Theil nur das Resultat der makroskopischen Zergliederung umfassen, betreffen 32 angeborene, 23 erworbene Taubstummheit, bei 63 liegt eine Angabe, ob erworbene oder congenitale Taubstummheit bestand, nicht vor. Für unsere Betrachtung zählen wir aus der Gruppe der erworbenen Taubstummheit nach den in der Anmerkung gegebenen Daten zwei Fälle (Nr. 43 und 45) der Tabelle Mygind's zu den Fällen congenitaler Taubstummheit; ein weiterer Fall ist als nicht taubstumm auszuscheiden. Andererseits verzichten wir nach den unzuverlässigen Sectionsberichten: „käsige Massen erfüllen den Vorhof und die Bogengänge“ auf Fall Nr. 5 und Nr. 20 der angeborenen Taubheit. Aus der Tabelle „Taubstummheit ohne nähere zeitliche Angabe“ sind 2 Fälle nach den Angaben in der Anmerkung als Fälle congenitaler Taubstummheit aufzufassen. Darnach kommen für uns aus der Tabelle Mygind's 34 Fälle angeborener und 20 Fälle erworbener Taubstummheit in Betracht.

Von den 34 Fällen angeborener Taubstummheit lassen 21 im Vestibulum, in den Bogengängen und, soweit darüber Daten vorliegen, im Nervus acusticus keinerlei pathologisch-anatomische Veränderungen erkennen. Von den übrigen 13 Fällen, bei denen sich in den genannten Theilen Anomalien vorfinden, sind bei einem nur geringe Veränderungen in einem einzigen Bogengange angegeben (Nr. 14). Unter den übrigen 12 Fällen besteht bei 4 (Nr. 6, 8, 15, 26) totaler, bei 7 (Nr. 10, 16, 21, 22, 23, 24, 25) partieller Defect der Bogengänge und des Vestibulum und bei einem (Nr. 13) theilweise Verknöcherung einzelner Bogengänge der rechten Seite.

Darnach ergeben sich unter 34 Fällen angeborener Taubstummheit 21 und, wenn wir Fall Nr. 14 noch dazu zählen, 22 Fälle, d. h. 64,7 %, ohne oder mit geringgradigen pathologisch-anatomischen Veränderungen, und 12 Fälle, d. h. 35,3 %, mit schweren Missstaltungen des Vestibularapparates[1]). Unter 20 Fällen erworbener Taubstummheit sind dagegen bei 17, d. h. ca. 85 %, schwere anatomische Schädigungen des Vestibularapparates angegeben.

Vergleichen wir dieses Ergebniss mit den Zahlen, die sich aus der galvanischen Reaction gewinnen liessen, so kommen wir zu folgender merkwürdiger Uebereinstimmung:

I. Von den taub Geborenen zeigen 68,8 % normales galvanisches Verhalten und 64,7 % normale oder gering gestörte anatomische Verhältnisse des Vestibularapparates.

II. Bei den nach der Geburt Ertaubten fehlt die normale galvanische Reaction in 71,1 %, bezw. nach Weglassung der Fälle der im 1. oder 2. Lebensjahr Ertaubten in 85,2 %, und weist der Vestibularapparat in 85 % schwere anatomische Schädigungen auf.

Durch dieses Verhalten wird unser seiner Zeit aufgestellte Satz, dass die normale galvanische Reaction von der Intactheit (bezw. geringen Schädigung) des Vestibularapparates abhängt, oder mit anderen Worten, dass die normale galvanische Reaction eine schwere anatomische Schädigung des Vestibularapparates mit voller Sicherheit ausschliessen lässt, wohl am besten illustrirt.

Nun ist es auch verständlich, warum sich die von Geburt aus taubstummen Menschen bei der galvanischen Prüfung nicht durchaus so verhalten, wie Thiere mit angeborenen Labyrinthanomalien. Die Uebereinstimmung beider ist durch diejenigen Fälle congenitaler menschlicher Taubstummheit gegeben, welche bei der Section keine groben Veränderungen im Vestibularapparat erkennen lassen, bezw. welche im anatomischen Befunde des Vestibularapparates mit den Tanzmäusen und anderen Thieren mit angeborenen Labyrinthanomalien übereinstimmen dürften. Leider sind wir nicht in der Lage, nach den Sectionsbefunden am Menschen, die sich fast durchwegs auf die Aufzählung der makroskopisch wahrnehmbaren anatomischen Ver-

1) Von dem pathologisch-anatomischen Befunde der Schnecke, der für unsere Frage in keiner Weise in Betracht kommt, sehen wir ab.

änderungen beschränken, die besondere Art dieser zu erweisen; jedenfalls geht aber schon daraus hervor, dass dieselben derartige sind, dass sie sich bei der gewöhnlichen Untersuchung unter der Lupe oder bei der makroskopischen Zergliederung des Labyrinths der Beobachtung einfach entziehen.

Unsere Annahme aber, dass es sich in diesen Fällen um feine Texturveränderungen in der Nervenendstelle und in den Nerven und Ganglien des Vestibularapparates in Analogie mit den am Tanzmauslabyrinth von uns beschriebenen Läsionen handelt, wird durch den von Scheibe (7) beschriebenen Fall gestützt, der wohl zu den Fällen angeborener Taubstummheit gerechnet werden muss, und in welchem sich im Vestibularapparat und in den Nervenästen und Ganglien ähnliche Veränderungen vorfanden, wie an den Tanzmäusen und an einer tauben Katze.

Der Wegfall der normalen galvanischen Reaction bei congenitaler Taubheit ist nach dem Materiale der Mygind'schen Statistik wohl als Zeichen schwerer Bildungsanomalien im Vestibularapparate aufzufassen, und hier dürfte es sich in der Mehrzahl der Fälle um vollkommenes Fehlen oder hochgradige Missbildung der Bogengänge und des Vestibularapparates handeln.

Was die erworbene Taubstummheit anlangt, so ist der Bestand ausgedehnter Veränderungen im Labyrinth mit dem Wegfall der normalen galvanischen Reaction verbunden, während offenbar diejenigen Fälle erworbener Taubstummheit, in welchen im Vestibulartheile des Labyrinths keine oder keine hochgradigen anatomischen Störungen bestehen, normale galvanische Reaction ergeben. Da bekanntermaassen eine grosse Zahl organischer Erkrankungen zu erworbener Taubstummheit führt, so wird es nicht überraschen, wenn sich bei erworbener Taubstummheit im Labyrinth mannigfaltige Veränderungen zeigen, welche fallweise die beiden Körperseiten nicht im gleichen Grade betreffen und so den zweifelhaften Ausfall der galvanischen Reaction bedingen.

Bei der angeborenen Taubstummheit dagegen lässt sich zumeist Seitengleichheit des Processes erwarten und diesem Umstand möchten wir es zuschreiben, dass bei den von uns untersuchten Taubstummen unter 19 Fällen angeborener Taubstummheit nur 3, d. h. 15,8 %, unter 43 Fällen erworbener Taubstummenheit dagegen 10, d. h. 23,2 %, zweifelhafte bezw. einseitige Reaction darboten.

Es wird gewiss nicht ohne Interesse sein, die Taubstummen bezüglich ihres besonderen physiologischen Verhaltens bei anderen Prüfungsmethoden (Augenbewegungen bei Rotation, Gangart, Gleichgewichtserhaltung) nach dem Gesichtspunkte der Scheidung in angeborene und erworbene Taubstummheit zu prüfen, um weitere Beziehungen zwischen Erhaltung der Function des Vestibularapparates und angeborener und erworbener Taubstummheit festzustellen und so sichere Schlüsse hinsichtlich der normalen Function der Theile des Ohrlabyrinthes zu gewinnen.

Einen kleinen Beitrag in dieser Richtung können wir unter Verwerthung der Kreidl'schen Tabelle geben, in welcher die Augenbewegungen bei Rotation des Körpers um die Verticalachse vermerkt sind[1]).

Darnach ergaben unter 37 von Geburt Tauben 19, d. h. 51,3 %, unter 39 später Ertaubten 35, d. h. 89,7 % keine Augenbewegungen. Daraus würde folgen, dass unter den Fällen erworbener Taubstummheit die Zahl derjenigen, welche keine Augenbewegungen zeigen, etwas grösser ist als die der galvanisch Nicht-Normalen (70 %) und ungefähr übereinstimmt mit der Zahl der Sectionsbefunde, in denen sich bei erworbener Taubstummheit schwere Veränderungen des Vestibularapparates gezeigt haben (85 %).

Zusammenfassung.

I. Bei der angeborenen Taubstummheit überwiegen bei Weitem die Fälle mit normaler galvanischer Reaction über die Zahl derjenigen mit negativer oder zweifelhafter Reaction.

II. Bei erworbener Taubstummheit zeigt nur eine geringe Zahl der Fälle normale galvanische Reaction, die nicht normal Reagirenden befinden sich in der Ueberzahl.

III. Nach dem Zahlenverhältnisse finden sich unter den von Geburt Tauben ungefähr eben so viele galvanisch Normale (68,8 %) als unter den nach der Geburt taubstumm gewordenen Nichtnormale (71,1 %).

IV. Das galvanische Verhalten allein gestattet noch keine Differential-Diagnose zwischen congenitaler und erworbener Taub-

1) Es sei hier erwähnt, dass diese Augenbewegungen eine normale Reaction des Vestibularapparates auf Körperdrehung darstellen und demgemäss bei allen Menschen gefunden werden.

heit, dagegen ist ihm neben anderen differential-diagnostischen Hülfsmitteln die klinische Verwerthbarkeit nicht abzusprechen.

V. Nach der Zusammenstellung von Mygind lässt nur die Minderzahl der von Geburt Taubstummen (35,3 %) grob-anatomische Veränderungen im Vestibularapparate erkennen, während unter den später Ertaubten solche in der Mehrzahl der Fälle (85 %) gefunden werden.

VI. Die Häufigkeit der galvanisch nicht Normalen unter den von Geburt Taubstummen (31,2 %) stimmt ungefähr überein mit der Häufigkeit des Befundes schwerer anatomischer Läsionen im Vestibularapparate bei congenitaler Taubheit (35,3 %).

VII. Das gleiche Verhalten zeigt sich bei Betrachtung der erworbenen Taubstummheit, bei welcher die Zahl der galvanisch nicht Normalen (71,1 %) der Zahl der Befunde schwerer pathologisch-anatomischer Veränderungen des Vestibularapparates (85 %) annähernd entspricht.

VIII. Darnach besteht zwischen dem Ausfalle der galvanischen Reaction und der Schwere der pathologisch-anatomischen Veränderungen im Vestibularapparate ein Zusammenhang der Art, dass bei Nichtvorhandensein hochgradiger; anatomischer Veränderungen normale Reaction beobachtet wird, während der Bestand ausgedehnter Bildungsanomalien oder Zerstörungen im Bereich des Vestibularapparates die normale Reaction ausschliesst.

IX. Der Procentsatz der galvanischen Versager in einem Taubstummen-Material ist im Wesentlichen durch das Zahlenverhältniss der erworbenen zur angeborenen Taubheit in dem betreffenden Zöglingsmateriale bedingt.

Literatur.

1) Alexander und Kreidl, Anatomisch-physiologische Untersuchungen über das Gehörorgan der Tanzmaus. II. Mittheilung. Pflüger's Archiv Bd. 88. 1902.
2) Kreidl, Beiträge zur Physiologie des Ohrlabyrinths. Pflüger's Archiv Bd. 51. 1892.
3) Mygind, Uebersicht über die pathologischen Veränderungen der Gehörorgane Taubstummer. Archiv für Ohrenheilkunde Bd. 30.
4) Mygind, Taubstummheit, bei O. Coblentz. Berlin 1894.
5) Politzer, Lehrbuch der Ohrenheilkunde. IV. Aufl. 1901.
6) Pollak, Ueber den galvanischen Schwindel bei Taubstummen. Pflüger's Archiv Bd. 54. 1893.
7) Scheibe, Ein Fall von Taubstummheit mit Acusticusatrophie und Bildungsanomalien im häutigen Labyrinth. Zeitschr. für Ohrenheilkunde Bd. 22. 1892.
8) Strehl, Beiträge zur Physiologie des inneren Ohres. Pflüger's Archiv Bd. 61. 1895.

Ueber die Verseifbarkeit einiger Säure-Amide und Säure-Anilide durch Fermente.

Von

Dr. M. Gonnermann.

In der Literatur finden sich über die Zersetzung organischer Säure-Amide im Thierkörper äusserst wenig Versuche verzeichnet, von denen besonders diejenigen von O. Schultzen, L. v. Nencki, M. v. Nencki, Rudzki, Küssner, Kobert, Salkowski, E. Baumann, E. Herter, Ebstein, Krohl u. A. hervorzuheben sind. Die meisten dieser Versuche sind vorzugsweise mit Acetamid und Oxamid, nur wenige mit Benzamid und Salicylamid ausgeführt; gar nicht kommen Formamid und Succinamid in Betracht. Findet aber überhaupt eine Zersetzung im Thierorganismus statt, so ist sicher in erster Linie daran zu denken, dass die einfache Spaltung oder Verseifung der Säure-Amide und Säure-Anilide durch Fermente vermittelt wird.

Die weitergehenden Umwandlungen sind hier nicht zu berühren. Da die Einwirkung von Fermenten noch gar nicht studirt worden ist, so habe ich im Anschluss an eine Besprechung mit Herrn Prof. Nasse Versuche in dieser Richtung angestellt, und zwar mit thierischen und pflanzlichen Enzymen, sowie mit Histozymen, an deren Stelle übrigens der Einfachheit wegen zerkleinerte thierische Organe zur Verwendung kamen. Die Frage schien interessant genug, um die voraussichtlich schwierigen Arbeiten zu unternehmen, und ich erkannte bald, dass Erscheinungen eintreten, die die erhaltenen Resultatswerthe zunächst als fraglich hinstellen konnten. Die Hauptschwierigkeit liegt in dem Abscheiden, sowie in der Constatirung des Reactionsresultates.

Es sollte geprüft werden mit:

A. Thierischen Fermenten:

a) Enzymen: Pepsin, Trypsin, Ptyalin;

b) Histozymen: Leber, Niere.

B. Pflanzlichen Fermenten:
Invertin, Maltin, Emulsin.

Von Amiden wurden verwandt:
Formamid, Acetamid, Oxamid, Succinamid, Benzamid, Salicylamid,

denen sich einige Anilide:
Formanilid, Acetanilid, Oxanilid, Benzanilid, anschlossen.

Als Ptyalin wurde stets frisch gesammelter und durch sterilisirte Watte filtrirter Speichel verwendet, 10 ccm zu jedem Versuch; Pepsin (0,2) und Trypsin (0,1) erhielten den erforderlichen Zusatz von Salzsäure bezw. Soda; von Invertin und Maltin, in sehr wirksamen Glycerinlösungen von mir frisch dargestellt, kamen bei jedem Versuch 25 Tropfen zur Anwendung, von Emulsin 0,1 g. Die von mir verwendeten, stets vollständig frischen Organe stammten vom Schaf; es muss ausdrücklich betont werden, dass nur für dieses Thier sowohl die positiven wie die negativen Erfolge meiner Versuche Gültigkeit haben; denn es bleibt die Möglichkeit, vielleicht die Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass die Organe anderer Thierarten auch anders wirken. Wenn ich mich nun auch in früheren Versuchen hatte überzeugen können, dass ein von mir dargestelltes Nierenhistozym sehr wirksam war, wie die Zerlegung von Hippursäure in Benzoësäure und Glykokoll bewies, so zog ich doch, wie schon oben gesagt, der Einfachheit wegen vor, von der Darstellung des Histozyms abzusehen und nur mit fein zerkleinerten Lebern und Nieren zu arbeiten. Der noch zu erwähnende Zusatz von Fluornatrium in allen Versuchsgemischen schloss eine Betheiligung des Protoplasmas aus; zu je 50 g Organbrei kam auf jeden Versuch sofort 1,0 g des Salzes; der Nierenbrei erhielt ausserdem noch einen Zusatz von Soda.

Bei den nun folgenden Versuchen schlug ich ein Verfahren ein, welches nur in einzelnen Fällen geringe Abweichungen bedingte, sonst als einheitlich gelten darf und für die Folge nicht weiter besprochen wird. Von den Amiden gelangten stets 0,5 g zur Verwendung für eine Gesammtflüssigkeit von 100 ccm; die Versuchsgemische, immer 100 ccm betragend, sind stets auf einen Gehalt von 1 % Fluornatrium gebracht. Nach beendigter Digestion, die ich verschiedene, nicht näher anzugebende Zeit dauern liess, wurde in den zu den Versuchen dienenden Kölbchen nach Abkühlung auf Zimmer-

temperatur das inzwischen verdunstete Wasser ersetzt, hierauf filtrirt und das Filtrat entweder für sich oder unter Zusatz von etwas chemisch reinem Baryumcarbonat auf dem Wasserbad eingedampft. Der Verdampfungsrückstand musste für jeden Versuch entsprechend weiterbehandelt werden.

Es ist schliesslich noch anzugeben, dass stets Controlversuche angestellt worden sind mit Fermenten und Organen, die durch Kochen unwirksam gemacht worden waren. Solche Controlversuche mussten von besonderer Bedeutung sein, wenn positive Resultate erhalten wurden, und ist auch jedes Mal beim Eintreten der letzteren die Nichtwirkung der getödteten Fermente und Organe festgestellt worden; es wird daher im Folgenden die ausdrückliche Erwähnung der Controlversuche unterbleiben. Bei den Versuchen mit Histozymen wurden die Organe der Niere und Leber mit einer Fleischhackmaschine zerkleinert; nachdem genügend Zeit, etwa 24 Stunden bei 38° C. digerirt war — aus früheren Versuchen war mir bekannt, dass bereits sechs Stunden genügten, um Hippursäure durch Nierenhistozym vollständig zu spalten —, wurde das Versuchsgemisch nach vorgängiger Abstumpfung der Säure durch Soda abgepresst, der Presssaft zur Abscheidung des Eiweisses aufgekocht, filtrirt, eingedampft, der Rückstand mit Weingeist ausgezogen und dann wie bei den Enzymen weiterbehandelt. Wie sich später bereits bei dem Leber-Formamidversuch zeigte und bei den übrigen Versuchen wiederholte, lag eine bedeutsame Störung im glatten Verlauf der Untersuchung in dem wasserlöslichen Extractivstoff der Organe; es musste demgemäss für jedes Säure-Amid ein geeignetes Verfahren eingeleitet werden, um Spaltungsproducte nachweisen zu können. Da nun die meisten dieser Amide in Alkohol oder Aetheralkohol löslich sind, so konnte die Arbeit insofern vereinfacht werden, als nur auf das Endresultat — die entsprechende Säure, die sich im ungelösten, syrupösen Rückstand, an Natrium gebunden, vorfinden musste — Rücksicht genommen worden ist, denn: lässt sich keine dem Amid entsprechende Säure nachweisen, so ist auch der Beweis erbracht, dass eine Umsetzung desselben nicht erfolgt, das Organ ohne Wirkung gewesen ist.

Der Nachweis des Reactionsproductes wird bei jeder Versuchsreihe angegeben; eine Angabe der Eigenschaften der Säure-Amide unterliess ich, weil bekannt, führe jedoch einige für den einzelnen Fall wichtige Bemerkungen sowie eigene Beobachtungen an, welche

in Beilstein's Organ. Chemie oder im Handwörterb. d. Chemie nicht verzeichnet waren.

Als Indicator bei den Titrationen für Alkalimetrie benutzte ich einmal die bekannte neutrale Lackmustinctur, dann eine neutrale Phenolphthaleïnlösung, welche ich für die Bestimmung der Alkalität des Rohrzuckers herstellte, die sehr empfindlich und in der „Deutschen Zuckerindustrie 1901" von mir angegeben ist. Zu einer 3%igen alkoholischen Phenolphthaleïnlösung wird so lange ½ normale Kalilauge gefügt, bis sie blauroth wird; dann bringt man die Farbe durch ½ normale Säure zum Verschwinden und gibt schliesslich wieder einen Tropfen Kalilauge zu; es entsteht eine äusserst zarte, sehr empfindliche Rosafärbung.

I. Amide.

Formamid.

Der Nachweis einer Verseifung wurde durch die Silbersalze reducirende Eigenschaft der Ameisensäure erbracht; weil nun aber auch Formamid selbst Silbersalze reducirt, musste dieses vorher aus den Reactionsgemischen entfernt werden, und zwar durch Verdampfen nach vorgängiger Abstumpfung etwa vorhandener Säure. Der Verdampfungsrückstand, im Exsiccator erkaltet, wurde mit wenig Wasser ausgezogen; der Lösung, schwach mit Salpetersäure angesäuert, nochmals mit etwas Ammoniak versetzt, um Fluorsilber in Lösung zu erhalten, fügte ich dann Silberlösung zu und erwärmte: eine metallische Ausscheidung von Silber konnte dann nur durch die Gegenwart von Ameisensäure bedingt sein.

Versuche mit thierischen Fermenten.

Pepsin. Beim Eindampfen der Versuchslösung wurde etwas Soda zugesetzt, um zunächst die Salzsäure, sowie die möglicher Weise gebildete Ameisensäure zu binden und dann die Silberreaction ausführen zu können. Es wäre bei diesem Versuch auch möglich, dass die freie Salzsäure das Formamid in Kohlendioxyd und Ammoniak während des Eindampfens zerlegt; der Zusatz von Soda und das Verdampfen zur Trockne, wobei sich Formamid verflüchtigt, beseitigte diese Bedenken; da nun im weiteren Verlauf des Versuchs keine Ausscheidung von metallischem Silber eintrat, so kann ich als

erwiesen annehmen, dass das Formamid durch Pepsin nicht verseift wird.

Trypsin. Die ursprüngliche Lösung reagirte naturgemäss durch die Gegenwart von Soda und Fluornatrium stark alkalisch und bedurfte daher keines weiteren Sodazusatzes; der sonstige Verlauf der Untersuchung war derselbe wie bei Pepsin; Verseifung des Formamids trat nicht ein, auch nicht bei Wiederholung des Versuchs.

Ptyalin. Spaltet gleichfalls Formamid nicht.

Versuche mit Histozymen.

Leber. Es stellte sich bald heraus, dass ein vollständiges Eintrocknen des Filtrates unmöglich war; es blieb ein Rückstand, welcher sich äusserst schwer mit Aether behandeln liess; in Folge dessen dampfte ich überhaupt nur bis zum dünnen Extract ein und brachte denselben dann in die Aetherschüttelflasche. Der Aetherauszug hinterliess beim Verdampfen keinen Rückstand; das Ungelöste wurde mit Phosphorsäure angesäuert, mit Aether ausgeschüttelt und dieser verdampft, wobei eine geringe Menge stark sauer reagirender Flüssigkeit erhalten wurde, die, zunächst durch Ammoniak neutralisirt, mit Salpetersäure angesäuert und nochmals mit Ammoniak alkalisch gemacht, auf Zusatz einer 10 %igen Silbernitratlösung beim Erwärmen eine Ausscheidung von metallischem Silber gab: das Histozym der Leber spaltet also aus Formamid Ameisensäure ab.

Niere. Dieses Versuchsgemisch wie auch die der folgenden mit Niere eingeleiteten Versuche unterschied sich von denen mit Leber dadurch, dass sich die abgepressten Flüssigkeiten zunächst äusserst schwer klar filtriren liessen; der ätherische Verdampfungsrückstand enthielt kein Formamid mehr, und bei der Prüfung des ungelösten Rückstandes auf Ameisensäure trat nur eine äusserst schwache Opalisirung des Silbergemisches beim Erhitzen ein; ich will es daher unentschieden lassen, ob das Formamid in der Niere völlig zersetzt wird oder während der Versuchsarbeit flüchtig geworden ist, neige jedoch mehr zu der ersten Annahme.

Versuche mit pflanzlichen Fermenten.

Invertin und Maltin waren ohne Einwirkung auf Formamid. Der Emulsinversuch erschien zweifelhaft und wurde wiederholt, wobei sich ergab, dass auch Emulsin Formamid nicht zersetzt.

Acetamid.

Zu den Eigenschaften des Acetamids ist zunächst Einiges zu bemerken; weder im Handbuch von Beilstein noch im Handwörterbuch der Chemie ist die saure Reaction der wässrigen Lösungen von Acetamid und ebensowenig erwähnt, dass beim Eindampfen derselben blaues Lackmuspapier durch die Dämpfe geröthet, Acetamid flüchtig wird, — Eigenschaften, welche für den Nachweis sehr wichtig sind und wohl leicht hierbei zu Täuschungen führen können, wenn sie nicht beachtet werden. Dem stets verbleibenden, auffallend geringen Rückstande von Acetamid beim Verdampfen der alkoholischen Lösung, welche das unzerlegte Präparat enthielt, trat ich im Laufe der Versuche etwas näher; ich erwärmte eine wässrige Lösung von Acetamid in einem Reagensglas fast bis 100 ° C. und bemerkte hierbei, dass die Dämpfe so stark nach Acetamid rochen — Mäusegeruch —, dass es im grossen Zimmer auffiel, während die kalte Lösung selbst nicht oder äusserst schwach den charakteristischen Geruch zeigte, und dass die Dämpfe, wie bereits angegeben, blaues Lackmuspapier rötheten; es tritt also beim Eindampfen der Versuchslösungen auf dem Wasserbad bereits eine Abspaltung von Essigsäure oder eine Verflüchtung des Acetamids ein, so dass es nunmehr nicht weiter befremdet, wenn von 0,5 g angewandten Materials so wenig — 0,06 g — wieder erhalten wurde.

Die erfolgte Zersetzung des Acetamids bei den Versuchen wurde durch das Vorhandensein von Essigsäure in einem Destillat als erwiesen angesehen. Alle Versuchsgemische wurden unter Zusatz von Baryumcarbonat auf dem Wasserbad eingedampft, der hierdurch erzielte staubige Rückstand mehrmals mit gleichen Theilen Aether und Alkohol ausgezogen, um das Acetamid zu entfernen; der Rückstand, eventuell Acetate enthaltend, wurde im Trockenschrank ausgetrocknet, mit Wasser verrieben und mit verdünnter Schwefelsäure (1 + 3) in ein kleines Destillirkölbchen gebracht, vorsichtig nach Entweichen der Kohlensäure bis zum Sieden erhitzt und die übergehenden Dämpfe in destillirtem Wasser aufgefangen; die saure Reaction beseitigte ich zunächst mit Sodalösung und prüfte dann mit Ferrichlorid auf Essigsäure, nachdem auch die Abwesenheit von Schwefelsäure nachgewiesen war. Um noch vorhandenes Acetamid zu erkennen, mischte ich eine Probe des mit Aetheralkohol extrahirten Rückstandes in einem Reagensglas mit etwas Magnesiumoxyd

unter Zufügung von Wasser und erhitzte: wurde ein darüber gehaltenes rothes Lackmuspapier gebläut, so war die Gegenwart von Acetamid erwiesen, weil dasselbe, wie mich Versuche lehrten, mit Magnesiumoxyd schon beim trocknen Zusammenreiben Ammoniak entwickelt. Nach diesem Verfahren war ich sicher, dass, wenn im Destillat Essigsäure vorgefunden wurde, dieselbe nur ein Spaltungsproduct in Folge der Einwirkung des Enzyms auf Acetamid sein konnte.

Versuche mit thierischen Fermenten.

P e p s i n. Das vorsichtig erhaltene Destillat hatte keine saure Reaction; da nun auf Zusatz von Ferrichlorid beim Erwärmen auch keine dunkle Färbung der Flüssigkeit eintrat, so war erwiesen, dass Pepsin auf Acetamid nicht verseifend einwirkt.

T r y p s i n. Das hierbei erhaltene Destillat reagirte stark sauer; es wurde daher mit Sodalösung vorsichtig neutralisirt und dann Ferrichloridlösung zugefügt; die entstandene schwache Ausscheidung von Eisenhydroxyd verschwand wieder bei Zusatz von etwas mehr Eisenlösung. Beim gelinden Erwärmen änderte sich die gelbliche Farbe schnell in eine rothgelbe; beim stärkeren Erhitzen trübte sich die Flüssigkeit, so dass ich die Gegenwart von Essigsäure als erwiesen betrachte: abgespaltet aus Acetamid durch Trypsin.

P t y a l i n wirkt auf Acetamid nicht ein.

Versuche mit Histozymen.

L e b e r. Beim Ausziehen des Versuchsrückstandes mit Aether wird das Natriumacetat ungelöst bleiben; es wurde daher der verbliebene Syrup wiederholt mit Aetheralkohol ausgezogen, schliesslich durch Erwärmen in einer Schale auf dem Wasserbad von demselben befreit, mit Magnesiumoxyd auf Acetamid geprüft und in dem Destillirkölbchen mit Schwefelsäure versetzt, erhitzt und das Destillat auf Essigsäure geprüft; dasselbe reagirte stark sauer, nahm mit Ferrichlorid nach dem Neutralisiren mit Ammoniak beim Erwärmen eine tiefblutrothe Farbe an und trübte sich beim Erhitzen unter Abscheiden eines voluminösen Niederschlages. Acetamid wird also durch Leberhistozym verseift.

N i e r e. Im Destillat fand ich keine Essigsäure, so dass erwiesen ist, dass Nierenhistozym nicht spaltend auf Acetamid einwirkt.

Ueber Thierversuche mit Acetamid finden sich in der Literatur mehrere Angaben. So fütterten O. Schultzen und M. Nencki[1]) Thiere, um zu sehen, einmal, ob eine Vermehrung des Harnstoffs eintritt und zweitens, ob das Acetamid im Organismus verbrannt oder unzersetzt im Harn wieder gefunden wird. Der sauer reagirende Harn eines Hundes wurde mit Schwefelsäure versetzt und dann mit Aether ausgeschüttelt, hierbei aber keine Essigsäure gefunden; bei der Destillation mit Schwefelsäure fanden sie dagegen eine dem Acetamid entsprechende Menge Essigsäure. Bei einem Fütterungsversuch mit Kaninchen soll ein grosser Theil des Acetamids zerlegt worden sein. Rudzki[2]) fütterte gleichfalls Kaninchen mit Acetamid und fand im Harn viel Essigsäure. Salkowski[3]) bestätigte die Beobachtungen von Schultzen und Nencki, dass beim Hund Acetamid unverändert im Harn sich vorfindet, während beim Kaninchen nur ein Theil ausgeschieden wird; denn nach einer Einspritzung von 2,8 g Acetamid fand sich im Harn nur so viel Essigsäure, dass 10,4 ccm Normalnatron das Destillat sättigten, während 47 ccm benöthigt gewesen wären, um die mit dem Acetamid eingeführte Essigsäure zu sättigen. Es sei jedoch zweifelhaft, ob das Acetamid überhaupt als solches ausgeschieden wird und nicht als essigsaures Salz. —

Leider ist der Verlauf des Versuchs nicht so ausführlich wiedergegeben, um die Gewissheit zu erlangen, dass die Essigsäure möglicher Weise durch die ganze Behandlungsart aus dem Acetamid entstanden sei, wie auch andererseits, dass nicht beim Eindampfen des Harns Acetamid flüchtig geworden sein könnte; sicher ist mir, dass bei den Versuchen von Schultzen und Nencki in das Destillat Essigsäure mit übergegangen ist, welche erst während dieses Processes aus dem noch aufgefundenen Acetamid abgespalten wurde. Ich glaube eine genauere und zuverlässigere Methode angewandt zu haben, um zweifellos behaupten zu können, dass beim Schaf wenigstens das Acetamid in der Leber theilweise die Spaltung und Umsetzung erleidet, und wenn nun im Harn neben unzersetztem Acetamid auch Essigsäure gefunden wird, so dürfte nach meinen vorliegenden Versuchen mit Wahrscheinlichkeit anzunehmen sein, dass das unzersetzte Acetamid die Nieren ohne Veränderung passirt.

---

1) Zeitschrift für Biologie Bd. 8 S. 124. 1872.

2) Petersburger med. Wochenschr. 1876 Nr. 26.

3) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 1 S. 1. 1877.

Versuche mit pflanzlichen Fermenten.

Invertin und Maltin sind ohne Einwirkung auf Acetamid.

Emulsin. Es waren mir in meinen ersten Versuchen die positiven Resultate der Einwirkung des Emulsins auf Acetamid so auffällig, dass ich den Versuch mehrmals wiederholte: das Resultat war aber stets das gleiche. Das stark saure Destillat gab mit Ferrichloridlösung eine tief dunkelrothe Färbung und schied beim Erhitzen Eisenhydroxyd aus; Emulsin wirkt ohne Zweifel kräftig spaltend auf Acetamid ein.

Oxamid.

Des besseren Verständnisses wegen und in Folge des Widerspruches, in welchem die Resultate meiner Versuche zu einigen Fütterungsversuchen in der Literatur stehen, gebe ich hier kurz die Eigenschaften des Oxamids wieder. Es stellt dasselbe ein weisses, lockeres, krystallinisches Pulver dar, welches mit 10000 Theilen Wassers eine neutral reagirende Lösung gibt; Säuren zerlegen dasselbe beim Kochen unter Bildung freier Oxalsäure.

Den Nachweis einer Verseifung durch Fermente hielt ich für erbracht, wenn sich Oxalsäure in den Reactionsgemischen sicher nachweisen liess: Bestimmung des durch Calciumchlorid gefällten Oxalates mit Permanganat. Es wurden drei verschiedene Versuchsreihen ausgeführt und dabei so überraschende Resultate erhalten, dass ich schliesslich an der Reinheit des Oxamids zweifelte. Da zeigte sich denn zunächst, dass das von E. Merck, Darmstadt, bezogene Präparat stark sauer reagirte; desshalb glaubte ich einen Theil der Versuche auf die Zunahme der sauren Reaction bei der Einwirkung der Fermente zu gründen und suchte diese Zunahme acidimetrisch zu bestimmen, musste jedoch bald das Fehlerhafte der Methode erkennen und sie verlassen. Auch von einer directen Bestimmung durch Permanganat musste ich absehen, da die Differenzen in den Resultaten zu bedeutend und unwahrscheinlich waren, bis ich endlich an Stelle des Merck'schen Präparates — es wurden zwei zu verschiedenen Zeiten bezogene Präparate benutzt — Kahlbaum'sches Oxamid verwendete. Das Merck'sche Oxamid zeigte sich nämlich zu meinem nicht geringen Erstaunen — können doch sonst die Präparate der Firma Merck mit Recht als rein angesehen werden — bei näherer Prüfung stark mit Oxalsäure ver-

unreinigt! Die Bestimmung ergab mehr als 47 % in dem ersten, 20 % freier Oxalsäure in dem zweiten Präparate. Das von Kahlbaum bezogene dagegen war vollkommen säurefrei. Fand sich jetzt in den Versuchsgemischen Oxalsäure vor, nachgewiesen durch Titration des gefällten Calciumoxalates mit $^1/_{10}$ normal Permanganat, so konnte sie nur durch die Einwirkung der Fermente aus dem Oxamid entstanden sein. Störend wirkt bei den Prüfungen das Fluornatrium, da auch dieses mit Calciumchlorid eine Fällung gibt, welche durch Essigsäure nicht verhindert wird; ich versetzte desshalb den Oxalatniederschlag zur Lösung nicht direct mit concentrirter Schwefelsäure, sondern mit einer grösseren Menge verdünnter Säure, 1 + 3 Wasser, um eine Erwärmung und hierdurch eine mögliche Zersetzung des Fluorcalciums zu vermeiden. Die Doppelversuche lieferten stets befriedigende und gleichwerthige Resultate; die Ausführung der Untersuchung war folgende:

Von dem Filtrat wurden zunächst 50 ccm, entsprechend 0,25 ccm Oxamid, abpipettirt, mit Ammoniak schwach alkalisch gemacht, aufgekocht, nochmals filtrirt, mit heissem Wasser ausgewaschen, das Filtrat mit Essigsäure übersättigt und heiss mit 10 % Calciumchloridlösung ausgefällt. Das Calciumfluorid fiel sehr schleimig aus, und liess sich daher der Niederschlag sehr schwer abfiltriren; er wurde desshalb öfter im Becherglas mit heissem Wasser ausgesüsst, verdünnt und mit einem erkalteten Gemisch verdünnter Schwefelsäure versetzt; die Mischung blieb trübe, und durch Permanganat wurde die Oxalsäure bestimmt.

Versuche mit thierischen Fermenten.

Pepsin. Beim Titriren mit Permanganatlösung wurden 1,8 ccm verbraucht; da nun dieselbe Menge auch bei dem Controlversuch mit vorher gekochter Pepsinlösung benöthigt war, so ist die Entfärbung des Permanganats auf andere Verhältnisse, vielleicht vorhandenes Pepsin, denn 0,1 aller Fermente entfärbte durchschnittlich 15 ccm Permanganatlösung, zurückzuführen.

Nach diesen wohl einwandfreien Versuchen muss ich erklären, dass Oxamid durch Pepsin nicht verseift wird.

Trypsin. Trotzdem das Gemisch noch alkalisch reagirte, gab ich noch etwas Ammoniak und dann Essigsäure zu; auch hier wurden für beide Versuche 1,6 ccm Chamäleonlösung verbraucht, welche

gleichfalls auf Rechnung noch vorhandenen Trypsins zu setzen wären; es verseift also Trypsin Oxamid nicht. Einer gleichen Probe wurden vorsichtig ziemlich 20 ccm reiner Schwefelsäure zugesetzt in der Voraussetzung, dass die verdünnte Säure aus vorhandenem Calciumoxalat nicht die Oxalsäure frei macht; hierbei ging das Calciumfluorid nicht in Lösung, und ein Mehrverbrauch an Permanganat trat nicht ein; es war daher einmal Calciumoxalat nicht vorhanden, und andererseits wirkte der Zusatz von unverdünnter Schwefelsäure nicht zerlegend auf das Calciumfluorid.

Ptyalin ist gleichfalls ohne Einwirkung.

Versuche mit Histozymen.

Der vom Aetheralkohol ungelöst gebliebene Rückstand wurde durch etwas Salzsäure angesäuert, in heissem Wasser gelöst, die Lösung filtrirt und durch Calciumchlorid gefällt. Es zeigte sich, da Oxalsäure nicht nachzuweisen war, dass die Histozyme der Leber und Niere vom Schaf unwirksam auf Oxamid sind.

Aus den Literaturangaben geht hervor, dass Oxamid in der physiologischen Chemie ein viel umstrittener Punkt war und noch ist; denn ein Theil der Forscher leitet die mehrfach erkannte Giftigkeit desselben von der im Organismus daraus abgespaltenen Oxalsäure ab, ein anderer Theil dagegen constatirt, dass Oxamid für Hunde selbst bei lang anhaltender Fütterung kein Gift ist, während wieder Ratten und Mäuse daran sterben, und ein dritter Theil behauptet, dass zwar Todesfälle eintreten, aber nur in Folge einer mechanischen Wirkung, indem Oxamidsteine Verstopfen der Nierenpapillen bewirkten.

Die Arbeit von Kobert und Küssner[1]) führt zu der Annahme, dass das Oxamid wenigstens theilweise im Körper in Oxalsäure übergeht und hierdurch giftig wirkt oder wenigstens „Einlagerung einer weissen Zone zwischen Rinde und Mark des thierischen Körpers zu bedingen vermag“. Vietinghoff-Scheel wies nach, dass weder im normalen Blut noch in den Nieren Oxalate vorhanden sind, und[2]) zieht eine Arbeit von Krohl[3]) an, nach

1) Biolog. Archiv 1879 S. 210.

2) Kobert, Lehrb. der Intoxicationen. Stuttgart 1897.

3) Kobert, Arbeiten des pharmak. Instituts. Dorpat 1891.

welchem das Oxamid im Harn als solches, also unzersetzt, wieder erscheint, bei Hunden und Katzen aber Ablagerungen (Concremente, Oxamidsteine) bildet, welche die Nierenpapillen, die Ureteren und die Harnröhre völlig versetzen können, wodurch der Tod bedingt war; diese Ablagerungen sollen sich selbst in kochender Salzsäure nicht gelöst und somit aus dem verfütterten chemisch reinen Oxamid Merck bestanden haben (? G.). Ebstein und Nicolaier veröffentlichten eine ausführliche Arbeit: „Ueber die experimentelle Erzeugung von Harnsteinen", Wiesbaden 1891, und in einer anderen Arbeit [1]) kamen Beide zu der Ueberzeugung, dass beim Füttern mit chemisch reinem Oxamid zwar Ratten und Mäuse, Hunde dagegen nicht vergiftet werden.

Auf Grund meiner Versuche, welche die Unzersetzlichkeit von Oxamid durch Enzyme und Histozyme gezeigt und somit wohl auch im Thierkörper überhaupt wahrscheinlich gemacht haben, glaube ich mich nun dahin aussprechen zu dürfen und damit die Widersprüche zu lösen, dass wirkliche Vergiftungserscheinungen, wie man sie von der Oxalsäure selbst kennt, nur eintreten bei mit Oxalsäure verunreinigtem Oxamid, andererseits aber auch Oyamid selbst tödtlich wirken kann durch Verstopfung der Nieren. Einer Aufklärung scheinen nur noch die Angaben von Krohl zu bedürfen, nach denen die von ihm beobachteten Concremente selbst in heisser verdünnter Salzsäure sich nicht aufgelöst haben sollen. Nach meinen Versuchen wird Oxamid sowohl rein als auch mit Oxalsäure versetzt durch 2 ‰ Salzsäure gelöst, ohne dabei gespalten zu werden, wie dies durch Titration mit Permanganat vor und nach dem Kochen bestimmt wurde. Ich vermuthe daher, dass diese Concremente nicht aus reinem Oxamid, wie Krohl angibt, sondern aus Oxalaten bestanden, hervorgegangen aus oxalsäurehaltigem Oxamid, welche dann allerdings in verdünnter Salzsäure nicht löslich sind, wenn nicht das von Ebstein beobachtete organische Gerüst der Oxamidsteine die Ursache ist, diese in Säure unlöslich zu machen.

Versuche mit pflanzlichen Fermenten.

Invertin und Maltin sind ohne Einwirkung.

Emulsin. Hierbei war die schleimige Fermentlösung sehr störend; der Kalkniederschlag wollte sich absolut nicht klären und

1) Naturw. Rundschau 1892 S. 288.

stand zwei Tage zum Decantiren; die überstehende Flüssigkeit opalisirte immer noch, so dass ich trotzdem die Prüfung mit Permanganat vornahm, zumal das schwerere, krystallinische Calciumoxalat sicher zu Boden gefallen war. Es wurde in beiden Versuchen 2,0 ccm Chamäleonlösung verbraucht, so dass ich schliesse, dass durch das Emulsin keine Verseifung des Oxamids eintritt.

Succinamid.

Das von Merck bezogene Succinamid bildete ein feinkrystallinisches Pulver, welches unter dem Mikroskop Bruchstücke kräftiger Prismen zeigte; es soll sich in 220 Theilen Wassers, nicht in absolutem Alkohol und Aether lösen; Reaction ist sauer. In den nachfolgenden Versuchen kam es nun darauf an, Bernsteinsäure neben Succinamid nachzuweisen, und dieser Nachweis ist wieder schwer zu erbringen, da die beiden Verbindungen sich in Wasser, Weingeist und Aether ziemlich gleich schwer lösen; vom Wasser war überhaupt abzusehen, da sich alle vorhandenen Stoffe, z. Th. auch Succinamid, lösen, so dass nur ein häufiges Ausschütteln mit Aether übrig blieb. Es wurde vor dem Eindampfen der Versuchsflüssigkeit etwas Soda zugefügt, das Gemisch auf dem Wasserbad bis zur Trockne eingedampft, mit Phosphorsäure versetzt und schliesslich mit Aether wiederholt ausgeschüttelt, dieser verdampft, um den Rückstand mikroskopisch zu untersuchen.

Versuche mit thierischen Fermenten.

Es wurde bei allen diesen Versuchen niemals ein auf Bernsteinsäure hinweisender Rückstand erhalten, und ich schliesse daraus, dass die Enzyme Pepsin, Trypsin und Ptyalin auf Succinamid nicht verseifend einwirken.

Versuche mit Histozymen.

Leber. In den Auszügen ist Bernsteinsäure nicht aufgefunden worden; demgemäss wurde der Rückstand — Bestandtheile der Leber, Fluornatrium, Succinamid, Bernsteinsäure (?), Natriumphosphat enthaltend — mittelst Wassers aufgeschwemmt und die schwereren Theile mehrmals ausgespült, bis das Wasser farblos war; der grau gefärbte Bodensatz wurde mit Wasser ausgekocht, die Flüssigkeit siedend heiss

filtrirt und auf dem Wasserbad eingedampft; es erschienen im mikroskopischen Bild die Succinamidkrystalle nicht wieder, dagegen die rhombischen vier- und sechsseitigen Tafeln der Bernsteinsäure, so dass ich annehmen kann, dass in der Leber die Umsetzung des Succinamids erfolgt.

Niere. Der verdampfte Aetherauszug, mit Wasser aufgenommen und im Exsiccator auf dem Objectschieber verdampft, ergab ausser einem Belag zweifelhafter Natur -- Chlornatrium? — prismatische Krystalle an den Rändern, die unter den gegebenen Verhältnissen nur Succinamid sein konnten, da sie in keiner Weise solchen von Bernsteinsäure glichen. Auch in dem vom Aether ungelösten Rückstand, welcher mit wenig Wasser ausgekocht, schnell filtrirt und das Filtrat auf dem Uhrglas verdampft wurde, fand sich stets viel Succinamid, aber niemals Bernsteinsäure, so dass ich es als erwiesen ansehe, dass das Nierenhistozym ohne Einwirkung auf Succinamid ist. —

Ueber die Verseifbarkeit oder Nichtverseifbarkeit des Succinamids — auch nicht die physiologische Wirkung desselben berührende — waren keinerlei Literaturangaben zu finden.

Die Versuche mit den pflanzlichen Fermenten, Invertin, Maltin, Emulsin, fielen völlig negativ aus.

Benzamid.

Das Benzamid bildet meist farblose, durchsichtige, perlmutterglänzende, rhombische, auch klinorhombische Tafeln und ist somit von dem Spaltungsproduct, der Benzoësäure, welche prismatische Nadeln oder Blättchen bildet, auch in „Federfahnen“ auftritt, leicht zu unterscheiden. An sich kaum im Wasser löslich, sind die benzoësauren Salze durch wässrigen Auszug von dem Benzamid zu trennen und aus denselben die Säure nach dem Abscheiden durch Phosphorsäure im Aetherauszug rein zu erhalten und zu erkennen: unter dem Mikroskop oder auch durch Erhitzen in einer Kugelröhre.

Versuche mit thierischen Fermenten.

Pepsin. Am zweiten Tage war in beiden Versuchsgemischen das Benzamid gelöst; beim Eindampfen entwickelte sich ein eigenthümlicher Geruch, welcher sich im ganzen Zimmer bemerkbar machte; der Rückstand fein zerrieben, mehrmals mit Aether aus-

geschüttelt und dieser verdampft gab nur allein die tafelförmigen Krystalle des Benzamids; auch in dem, vom Aether ungelösten Rückstand fand sich keine Benzoësäure, so dass ich als erwiesen ansehe, dass Benzamid durch Pepsin nicht verseift wird.

Trypsin. Auch hier erfolgte die Lösung des Benzamids bald vollständig; das Versuchsgemisch reagirte nach Beendigung des Versuches stark alkalisch, so dass schon vorauszusetzen war, dass eine Verseifung nicht eingetreten sei. Aus den ätherischen Auszügen im Verlauf des Versuches war keine Benzoësäure zu erhalten, und ein Rückstand, in einer Kugelröhre erhitzt, gab einen weissen, krystallinischen Anflug, welcher, auf Platinblech erhitzt, schmolz und weisse Dämpfe, nach Bittermandelöl riechend, entwickelte: Benzamid.

Da die alkalische Lösung schon auf Zusatz von Phosphorsäure völlig klar blieb — ausgeschiedene Benzoësäure hätte trüben müssen, — so war auch hierdurch erwiesen, dass eine Verseifung des Benzamids durch Trypsin nicht eingetreten war.

Ptyalin war gleichfalls wirkungslos.

Versuche mit Histozymen.

Leber. Beim Verdampfen des Aetherauszuges, welcher etwas gefärbt war, wurden die schönen Federfahnen des Benzoësäure erhalten, zumeist jedoch lange, prismatische Nadeln, in Haufen zusammengeworfen, sowie einige gekreuzte Complexe der undurchsichtigen Hippursäureprismen, so dass es scheint, als ob in der Leber das Benzamid vorzugsweise in Benzoësäure und diese theilweise in Hippursäure übergeführt wird. Die Tafeln des Benzamids fehlten vollständig.

Niere. Aus dem ätherischen Auszug, erhalten aus dem mit Phosphorsäure angesäuerten Rückstand, schieden sich wenige mikroskopische, prismatische Krystalle aus, welche unter den gegebenen Verhältnissen nur Benzoësäure sein konnten, die durch das Nierenhistozym aus Benzamid abgespaltet wurde.

L. von Nencki[1]) hat im Anschluss an die Arbeit von Schultzen und M. Nencki, welche damals den jetzt übrigens nicht mehr allgemein gültigen Satz aufstellen zu können glaubten, „dass wohl sämmtliche Amide der fetten Reihe ohne jede weitere

1) Archiv f. Pathologie Bd. 1 S. 420. 1873.

Veränderung den Organismus verlassen", mit Benzamid experimentirt, nahm selbst in refracto dosi täglich 5,5 g von der Substanz ein, dampfte den Harn zum Syrup ein, säuerte den Rückstand des alkoholischen Auszuges mit verdünnter Schwefelsäure an und extrahirte mit Aether; bei dem Abdestilliren desselben hinterblieb eine krystallinische Masse von Hippursäure. Die Menge derselben stimmte jedoch nach v. Nencki's Angaben nicht mit den Berechnungen der Analyse, und glaubt er, dass ein Theil der Hippursäure wieder in Benzoësäure und Glykokoll umgesetzt worden sei.

Auch Salkowski[1]) stellte Versuche, und zwar mit Kaninchen an und fand nach Verfüttern von Benzamid in Pillenform im Harn so reichlich Hippursäure, dass auf Zusatz von Salzsäure ein dicker Brei entstand; seine Versuche erneuerte er bei alkalischer Beschaffenheit der Nahrung, welche vorzugsweise in Kartoffeln bestand, und zwar wurde $^1/_5$ des Körpergewichts verabreicht; er konnte die Resultate von v. Nencki nur bestätigen.

Die Frage, ob sämmtliches Benzamid im Körper gespalten wird oder unter besonderen Umständen theilweise den Körper unverändert verlässt, hat wohl hier kein besonderes Interesse. Es sei in dieser Beziehung nur verwiesen auf B. Cohn's[2]) Untersuchung über „Einführen von Benzaldehyd".

Versuche mit pflanzlichen Fermenten.

Bei diesen Versuchen ist die grösste Menge des angewandten Benzamids bei dem Auszug mit Aether wieder erhalten worden, wie auch der vom Aether ungelöst gebliebene Rückstand keine Benzoësäure enthielt; es sind demgemäss die pflanzlichen Fermente ohne Einwirkung auf Benzamid.

Salicylamid.

Die langen, farblosen Blättchen lösen sich in Wasser, Alkohol und Aether, die Lösungen reagiren sauer; beim Erhitzen sublimiren sie unzersetzt. Der Nachweis einer Abspaltung von Salicylsäure wurde auf zweierlei Weise versucht; einmal bestimmte ich alkalimetrisch die Acidität des Salicylamids und dann diejenige nach Be-

1) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 1. 1877.
2) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 14 S. 303. 1890.

endigung des Versuches; genau quantitativ konnten diese Bestimmungen insofern nicht ausfallen, als das bei der Spaltung entstehende Ammoniak jedenfalls einen Theil der Acidität des Salicylamids binden wird; es konnte also nur der Mehrverbrauch an Alkali in dem Hauptversuch gegenüber jenem mit vorher gekochter Fermentlösung maassgebend für die Gegenwart von Salicylsäure sein. Zweifellos sicher ist daher die zweite Methode, welche sich auf meine Beobachtung gründet, dass zwar Salicylsäure in einer Lösung von Ammoniumacetat sich schnell und vollständig in sehr grossen Mengen auflöst, dagegen das Salicylamid nicht. Zunächst machte ich Versuche mit Salicylamid und Salicylsäure getrennt; doppelter Salmiakgeist wurde direct, das Gefäss in einer Kühlwanne stehend, mit Eisessig neutralisirt und bei getheilten Versuchen Salicylsäure und Salicylamid eingetragen; Salicylsäure verschwand sofort, selbst bei grossem Zusatz, während bei Salicylamid nach anhaltendem kräftigem Durchschütteln Eisenchloridlösung im Filtrat keine Spur einer Blaufärbung bewirkte, welche, mit Salicylamid in Wasser gelöst, auf's Schärfste sich zeigte. Bei der Reaction zwischen Salicylsäure und Ferrichlorid bei Gegenwart von Ammonacetat ist zu bemerken, dass bei ziemlich concentrirter Lösung des letzteren nicht sofort die Blaufärbung, sondern zunächst die blutrothe Farbe des Eisenacetats auftritt; dies ist jedoch zu vermeiden, wenn die Lösung der Salicylsäure im Ammonacetat vor dem Zusatz des Ferrichlorids verdünnt oder mit so viel Salzsäure versetzt wird, bis Salicylsäure „beginnt", sich unter leichter Trübung auszuscheiden; dann tritt auf Zusatz von Ferrichlorid sofort die blaue oder kirschrothe Färbung auf; bei diesem Reactionsversuch entsteht mit Salicylamid stets nur die Eisenacetatreaction.

Es wurden die beim Eindampfen der Versuchsgemische erzielten Rückstände fein zerrieben, mit wenig Ammonacetatlösung ausgezogen, filtrirt, etwas Wasser zur Verdünnung zugefügt und mit Ferrichloridlösung geprüft: es konnte niemals bei den Versuchen mit thierischen und pflanzlichen Fermenten Salicylsäure nachgewiesen werden und bedürfen dieselben daher keiner weiteren Ausführung. Bei Controlversuchen mit einem minimalen Zusatz von Salicylsäure traten die charakteristischen Färbungen sofort ein.

Versuche mit Histozymen.

Leber. Bei diesen Versuchen wurde der syrupöse Versuchsrückstand wie bisher mit Aether ausgezogen und nach dem Verdampfen desselben auf einer Glasplatte unter dem Mikroskop die Gegenwart der Salicylsäure zu constatiren versucht; war dies zweifelhaft, so dampfte ich den Aetherauszug völlig ein, um dann mit Ammoniumacetat weiter zu prüfen; in beiden Fällen war Salicylsäure nicht nachzuweisen; demnach wirkt das Leberhistozym nicht spaltend auf Salicylamid ein.

Niere. Aus dem Aetherauszug wurden die schönsten Krystalle der Salicylsäure erhalten; unter dem Mikroskop sah man das Entstehen und Wachsen derselben; ein Tropfen verdünnter Ferrichloridlösung färbt sie sofort kirschroth, so dass es keinem Zweifel unterliegt, dass durch das Nierenhistozym aus dem Salicylamid Salicylsäure abgespalten wird.

Herter und Baumann[1]) constatirten nach Verfüttern des Salicylamids an Hunde im Harn derselben nur eine gepaarte Salicylamidoschwefelsäure. Meine Versuchsresultate mit Salicylamid und Nieren decken sich mit denen mit Benzamid ausgeführten derartig, dass mir ein Zweifel an der Richtigkeit derselben kaum auftreten kann.

II. Anilide.

Den vorbeschriebenen Versuchen schliessen sich in ganz gleicher Weise ausgeführte mit Aniliden an. Die Anilide sind meistens neutrale Körper, viele besonders in heissem Wasser, andere so gut wie gar nicht in demselben, dagegen meistens in Alkohol und Aether löslich. Viele der Anilide sind ohne Zersetzung flüchtig; sie werden durch Kochen mit Säuren oder Basen unter Aufnahme von Wasserelementen mehr oder weniger leicht zerlegt. Wird im Allgemeinen angenommen, dass sich die Anilide leichter verseifen lassen als die Amide, so wird sich der Nachweis eines Spaltungsproductes wohl schwieriger gestalten, als es bei jenen gleicher Säure war, mindestens viel umständlicher werden, da möglicher Weise beim Eintritt solcher Verseifungen der Nachweis des Anilins sowie der Säure gefordert werden dürfte und die bekannten Reactionen immer nur für reine

1) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 1 S. 244. 1877.

Substanzen gelten. Immerhin möge es genügen, bei dem Auftreten von Anilin darauf schliessen zu können, dass eine Verseifung des Anilids eingetreten ist. Bei diesen Versuchen wurde vorgezogen, den Organbrei nach der Einwirkung abzupressen, das Filtrat mit etwas Natriumbicarbonat, soweit dies nöthig, einzudampfen und den Rückstand mit Aetheralkohol auszuziehen, um Anilin in Lösung zu bekommen, diese Lösung vorsichtig zu verdunsten und mit Chlorkalklösung auf Anilin zu prüfen.

Formanilid.

Für die nachfolgenden Versuche ist die Eigenschaft des Formanilids wichtig, dass dasselbe ammoniakalische Silberlösung selbst in der Siedhitze nicht reducirt, wie ich sicher constatirte. In verdünnter Lösung und bei tropfenweiser Zugabe von Chlorkalklösung entsteht mit Formanilid erst eine gelbe Färbung; als eine schwache Trübung eintrat, wurde die Farbe immer dunkler und ging beim schwachen Erwärmen in schmutzig-rosenroth über; auf Zusatz von einigen Tropfen Ammoniak geht die anfangs gelbe Farbe schnell in hellblutroth über und wird gleichfalls beim Erwärmen dunkler. Wird stärkere Chlorkalklösung angewandt, so entsteht ein ziegelrother Niederschlag, welcher sich beim Erwärmen mit blutrother Farbe löst.

Versuche mit thierischen Fermenten.

Pepsin. Beim Eindampfen der filtrirten, mit Natriumbicarbonat versetzten Versuchslösung machte sich bald ein aromatischer Geruch bemerkbar; nach Verdampfen des ätherischen Auszuges auf dem Wasserbad blieb ein geringer, öliger, klarer Rückstand, welcher, mit Wasser geschüttelt, erst eine milchige, dann klare Lösung gab, die, mit etwas Salzsäure und Chlorkalklösung versetzt, beim gelinden Erwärmen eine tief blaurothe Färbung annahm; auf Zusatz von Aether nahm derselbe einen hellbraunen Farbstoff auf, während die wässrige Lösung blau war. Nach diesen Erscheinungen ist es zweifellos, dass aus Formanilid durch Einwirkung von Pepsin Anilin abgespalten worden ist.

Trypsin. Bei gleicher Ausführung des Versuchs wurde derselbe aromatisch riechende Rückstand erhalten, aus welchem durch Aetherextraction Anilin mit seinen Reactionen isolirt wurde, — also auch hier deutliche Spaltung.

Ptyalin. Trotz wiederholter Versuche war eine Verseifung des Formanilids nicht nachzuweisen.

Versuche mit Histozymen.

Wie bei den Versuchen mit den Säure-Amiden bereits hervorgehoben, liessen sich die Reactionsgemische nicht bis zur Trockne eindampfen, und wurde daher nur ein syrupöser Rückstand hergestellt, welcher sich mit Aether leichter ausschütteln liess.

Leber. Der ätherische Auszug dieses Syrups gab einen geringen öligen Rückstand, welcher sich schwer mit Wasser mischte. Versetzt man diese Lösung mit Chlorkalklösung, so tritt dieselbe Farbenerscheinung ein, wie sie Formanilid selbst gibt; es konnte also, da hierbei eine Trennung des Formanilids vom Anilin scheinbar nicht möglich ist, eine Spaltung nur dann sicher nachgewiesen werden, wenn sich in dem vom Aether ungelösten Rückstand Ameisensäure bestimmt nachweisen lässt. Aus diesem wurde nun eine geringe Menge stark saurer Flüssigkeit erhalten, welche, mit wenig Wasser aufgenommen, mit etwas Ammoniak, dann Salpetersäure und wieder Ammoniak versetzt, beim Erwärmen mit Silberlösung dieselbe schnell reducirte; da nun andere Reductionsmittel nicht gegenwärtig sein konnten, der Versuch mit gekochter Leber diese Reaction nicht gab, so ist erwiesen, dass das Histozym der Leber das Formamilid verseift.

Niere. Der ölige Rückstand bei der Aetherverdampfung war reichlicher als bei dem Leberversuch, schwerer als Wasser — also kein Fett — und löste sich nach kräftigem Schütteln in demselben; Chlorkalklösung gab dieselbe Reactionsfarbe, wie sie beim Leberversuch auftrat, aber doch auf Anilin hinwies. Bei der Prüfung auf Ameisensäure trat nur eine geringe Reduction von metallischem Silber ein. Der Gegenversuch mit gekochter Niere gab beim Eindampfen des Aethers nur die langen, abgeplatteten, vierseitigen Prismen des Formanilids wieder; es spaltet also das Nierenhistozym das Formanilid in Anilin und Ameisensäure.

Vollkommene Spaltung des Formanilids im Thierkörper (Hund) ist von F. K. Kleine[1]) nachgewiesen, und vergleicht dieser das Verhalten desselben mit demjenigen des Acetanilids. Die Arbeit von Binet[2]) ist mir leider nicht zugänglich gewesen.

---

1) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 22 S. 327. 1896.

2) Récherches physiologiques sur quelques anilides. Genève 1889.

Versuche mit pflanzlichen Fermenten.

Invertin und Maltin verseifen nicht.

Emulsin. Um das Emulsin aus dem Versuchsgemisch abzuscheiden, setzte ich demselben etwas Ammoniak und hierauf einige Tropfen Essigsäure im Ueberschuss zu und kochte auf; die flockige Ausscheidung filtrirte ich ab und dampfte die klare Flüssigkeit zum Syrup ein; mit Aether ausgezogen, dieser verdampft, gab er keinen krystallinischen, sondern nur etwas dunkleren, bedeutenderen, öligen Rückstand, welcher sich als Anilin erwies. Ameisensäure war nicht sicher nachzuweisen; Emulsin spaltet Formanilid.

Acetanilid. (Antifebrin.)

Die farblosen, glänzenden Krystallblättchen lösen sich in 194 Theilen kalten, in etwa 18 Theilen siedenden Wassers, in 3,5 Theilen Weingeist, sehr leicht in Aether und Chloroform. Die Lösungen reagiren neutral; beim Kochen mit Salzsäure entsteht eine klare Lösung, welche auf Zusatz von dem doppelten Volumen der Salzsäure durch Chlorkalklösung zwiebelroth getrübt und nach hierauf folgender Uebersättigung mit Ammoniak beständig indigoblau gefärbt wird; für sich gibt Chlorkalklösung keine Reaction mit Acetanilid.

Versuche mit thierischen Fermenten.

Pepsin. Die Versuchsflüssigkeit reagirte schwach sauer und färbte beim Eindampfen darüber gehaltenes blaues Lackmuspapier nicht roth; es wurde etwas Natriumbicarbonat zugefügt und der vom Trockenrückstand erzielte Aetherauszug bis zu einem geringen Theil verdampft, um das Volumen zu vergrössern mit Aetheralkohol versetzt; eine Probe mit wenig Wasser vermischt, Salzsäure, Chlorkalklösung und Ammoniak zugegeben, gab die Acetanilidreaction nicht; es war desshalb also verschwunden: Pepsin zerlegt Acetanilid vollständig.

Tryprin. Beim Verdampfen des ätherischen Auszugs blieben die öligen Tropfen des Anilins zurück, welches auch durch die Reactionen erkannt wurde; Trypsin zerlegt gleichfalls Acetanilid.

Ptyalin ist ohne Einwirkung.

Versuche mit Histozymen.

Leber. Der beim Verdunsten des Aethers erhaltene Rückstand gab reines Acetanilid wieder ohne jegliche Anilinreaction, so dass also durch Leberhistozym keine Spaltung eintritt.

Niere. Auch Nierenhistozym ist wirkungslos.

Mit Acetanilid sind eine ganze Anzahl Thierversuche angestellt worden; Wendriner[1]) ist es nicht gelungen, Acetanilid im Harn wieder zu finden, dagegen viel Phenol; aus Hofmann's, Runge's und Schuchardt's Untersuchungen geht hervor, dass Acetanilid gleich wie reines Anilin auf Kaninchen, Frösche und Blutegel letal wirkt, während Hunde nach Wöhler und Frerichs widerstandsfähig sind. v. della Cella[2]) konnte nach einer Dosis von 2,0 g im Harn kein Acetanilid mehr nachweisen; Fr. Müller[3]) fand in der Ausscheidung P-Amidophenol. M. Jaffé und P. Hilbert[4]) beobachteten verschiedenes Verhalten: bei Kaninchen fanden sie im Harn P-Amidophenol, bei Hunden Orthophenolcarbaminsäure; Mörner[5]) fand Acetanilid im Harn nicht wieder, dagegen Acetylparamidophenol.

In der Hauptsache stimmen diese Angaben darin überein, dass überall Phenol oder Derivate desselben, aber niemals Acetanilid gefunden wurden. Die Spaltung des Acetanilids kann nach meinen Versuchen schon im Magen eine vollständige sein, das etwa den Magen unverändert passirende Präparat wird dann sicher der Einwirkung des Trypsins nicht entgehen.

Die pflanzlichen Fermente spalten Acetanilid nicht.

Oxanilid.

Die Resultate meiner Versuche mit thierischen und pflanzlichen Fermenten fielen ebenso negativ aus wie diejenigen mit reinem Oxamid.

Versuche mit Histozymen.

Der Verlauf dieser Versuche war der gleiche wie bei den vorhergehenden; den abfiltrirten Reactionsflüssigkeiten wurde vor dem

1) Allgem. med. Centralztg. 1887; citirt nach „Thier-Chemie" 1887 S. 68.
2) Journal. Pharm. Chim. Bd. 15 S. 462.
3) Deutsche med. Wochenschr. 1887.
4) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 12 S. 295. 1888.
5) Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 13 S. 12. 1889.

Eindampfen etwas Natriumbicarbonat zugefügt und der Verdampfungsrückstand mit Aether extrahirt. Weder bei Leber noch bei Niere blieb beim vorsichtigen Verdunsten des Aethers ein öliger Rückstand, welcher auf Anilin hätte schliessen können; das vom Aether Ungelöste wurde auf dem Wasserbad erwärmt, um den Aether zu verflüchtigen, dann mit heissem Wasser ausgelaugt, die filtrirte Lösung mit etwas Ammoniak, dann mit viel Essigsäure versetzt und durch Calciumchlorid Oxalsäure abzuscheiden versucht; es entstand ein starker voluminöser Niederschlag, welcher nun weiter behandelt wurde. Da nun auf Zusatz von reiner Schwefelsäure eine klare Lösung nicht eintrat, wurde so lange filtrirt, bis nur noch eine schwache Opalisirung verblieb; um auf Calciumoxalat zu prüfen, versetzte ich eine Probe mit Ammoniak im Ueberschuss, wobei keine Fällung oder Trübung eintrat, wie denn auch von der $^1/_{10}$-Permanganatlösung nur 1,2 ccm bis zur bleibenden Farbe verbraucht wurden, welche wieder der gelblichen Färbung des Organfarbstoffes zuzuschreiben sind, weil bei vorher gekochten Organen die gleichen Mengen verbraucht wurden. Es wirken somit die Histozyme der Leber und Niere nicht spaltend auf Oxanilid ein.

In der Literatur finden sich keinerlei Thierversuche aufgeführt.

Benzanilid.

Die thierischen und pflanzlichen Fermente sind ohne spaltende Einwirkung auf Benzanilid; beim Verdampfen des Aetherauszuges vom Versuchsrückstand blieb kein Anilin zurück, sondern unter dem Mikroskop wurden nur sehr vereinzelte Krystalle des Anilides gefunden; auch Benzoësäure fehlte. Ein wiederholter Versuch kam 24 Stunden in das Digestionsbad, und auch hierbei wurde keine Spaltung beobachtet; dieses negative Resultat liess sich um so mehr erwarten, als fast sämmtliches Benzanilid auf dem Filter wieder erhalten wurde.

Versuche mit Histozymen.

Leber. Beim Verdampfen des Aetherauszuges blieb keinerlei Rückstand; eine Spaltung war nicht zu constatiren.

Niere. Bei diesem Versuch war deutlich Anilin nachzuweisen, und aus dem vom Aether ungelösten Rückstand konnte ich durch Phosphorsäure-Zusatz und Ausschütteln mit Aether unter dem

Mikroskop deutlich die über einander gelagerten Balken der Hippursäure, sowie auch Benzoësäure erkennen: Benzanilid wird demgemäss durch Nierenhistozym gespalten.

In der Literatur fanden sich keine Thierversuche verzeichnet.

Fasse ich nun die Resultate meiner Versuche zusammen, so ergibt sich folgendes Bild:

Säure-Amide und Säure-Anilide	Pepsin	Trypsin	Ptyalin	Leber (Schaf)	Niere (Schaf)	Invertin	Maltin	Emulsin
Formamid	—	—	—	+	+	—	—	—
Acetamid	—	+	—	+	—	—	—	+
Oxamid	—	—	—	—	—	—	—	—
Succinamid	—	—	—	+	—	—	—	—
Benzamid	—	—	—	+	+	—	—	—
Salicylamid	—	—	—	—	+	—	—	—
Formanilid	+	+	—	+	+	—	—	+
Acetanilid	+	+	—	—	—	—	—	—
Oxanilid	—	—	—	—	—	—	—	—
Benzanilid	—	—	—	—	+	—	—	—

Zur Frage der Kohlehydrat-Zerlegung durch thierische und pflanzliche Fermente und Enzyme.

Von

Dr. **Walther Nic. Clemm** in Darmstadt.

Gelegentlich meiner Arbeiten im Laboratorium meines unvergesslichen Lehrers Willy Kühne in Heidelberg beschäftigte ich mich auch mit dem Versuche, dasjenige Ferment aufzufinden, welches das Glykogen der Leber in Dextrose umwandelt, unabhängig davon, ob das Glykogen selbst aus Lävulose, Dextrose oder einer anderen Zuckerart gebildet war. Dass Ptyalin an diesem Vorgange nicht beteiligt ist, trotz seines Vorkommens in den Leberzellen, ist wohl allgemein heute anerkannt; dass andererseits die sogenannte Protoplasmawirkung der Leberzellen auf das Glykogen ohne Zuhülfenahme eines Enzyms, welches die Zellen selbst producieren, mir, trotz Richard Neumeister's[1]) bestimmter diesbezüglicher Angabe, nicht plausibel erscheint, darin bestärkt mich auch Kühne's mir in gedachtem Sinne erteilte Anregung, sowie die Untersuchungen E. Salkowsky's[2]).

Um mir nun ein möglichst umfassendes Urteil über diesen Vorgang bilden zu können, suchte ich zunächst verschiedene, bei der Verdauung gebildete Zucker zu charakterisieren. Ich bediente mich dazu der von Emil Fischer[3]) angegebenen Methode der Schmelzpunktbestimmung nach Darstellung des Osazons mittels essigsauren Phenylhydrazins. Es ist mir zwar bewusst, dass diese einseitige Bestimmung keineswegs genügende Präcisierung der erhaltenen Zuckerarten gestattet, allein aus dem Umstande, dass die Phenylhydrazin-Verbindung durchaus nicht immer in gleicher Weise zu erhalten war, erhellt ebenso wie aus der Verschiedenheit der Schmelzpunkte, dass

---

1) Richard Neumeister, Lehrbuch, 2. Aufl., S. 320.

2) E. Salkowsky, Ueber Autodigestion der Organe. Zeitschr. f. klin. Medicin Bd. 17. 1887. Supplement S. 77.

3) Emil Fischer's Ber. der Deutsch. chem. Gesellsch. Bd. 17 S. 579 ff. 1884, Bd. 20 S. 821 ff. 1887, und Bd. 23 S. 2119. 1890.

es offenbar sich um compliciertere Vorgänge bei der Kohlehydrat-Verdauung handelt, als die bei Neumeister S. 285 in seinem citierten Lehrbuche wiedergegebene herrschende Anschauung voraussetzen lässt.

Ich habe daher meine aus den Jahren 1889 und 1890 stammenden Laboratoriumsnotizen, welche wegen Nichterreichung des eingangs erwähnten Zieles unveröffentlicht blieben, meinen nachstehend wiedergegebenen Versuchen zu Grunde gelegt und hoffe mit denselben, trotz der bereits anerkannten Einseitigkeit derselben, anregend auf Nachprüfung der aufgerollten Fragen zu wirken. Meine bescheidenen Mittel erlaubten mir nicht, umfassendere Versuche. wie sie im Universitätslaboratorium von mir angestellt worden wären, daran anzuschliessen. Ich muss dieselben vielmehr Anderen überlassen, welche durch diese Skizze zur Nachprüfung der darin enthaltenen Resultate angeregt werden.

Wie erwähnt, liegen diesen Versuchen Emil Fischer's Berichte in der Deutschen chemischen Gesellschaft von 1884, 1887 und 1890 zu Grunde über die Phenylhydrazin-Verbindungen, welche fast alle Zucker, wenigstens diejenigen, welche alkalisches $CuSO_4$ reducieren, liefern: Fischer fand charakteristisch-verschiedene Schmelzpunkte dieser Osazone.

Ich selbst nun schlug vier verschiedene Wege ein, um solche Zucker zu erhalten, welche stets auf die gleiche Weise in ihre Phenylhydrazin-Verbindung überzuführen gesucht waren. Ich setzte Polysaccharide der Speichelverdauung, der Parkreasverdauung und, in thymolisierten Lebern frisch geschlachteter Thiere der Selbstverdauung durch die Protoplasmawirkung beziehungsweise durch das von mir angenommene Leberzellen-Ferment, sowie endlich der Verdauung durch wässeriges Diastase-Extract aus. Die Versuche umfassten also vier Gruppen, deren jede in mehrere Einzelversuche zerfiel:

A. 1. Kartoffelstärke-Kleister wurde mit Speichelptyalin verdaut.
   2. Glykogen wurde mit Speichelptyalin verdaut.

B. 1. Kartoffelstärke-Kleister wurde mit Pankreassecret verdaut.
   2. „ „ „ „ Pankreatin verdaut.
   3. „ „ „ „ Pankreas-Glycerinextract verdaut.

C. 1. Schweineleber, frisch zerkleinert und thymolisiert, unterlag der Selbstverdauung.

2. Hundeleber, frisch zerkleinert und thymolisiert, unterlag der Selbstverdauung.

D. 1. Kartoffelstärke-Kleister wurde mit Diastase-Extract verdaut.
2. Glykogen wurde mit Diastase-Extract verdaut.

A. 1. Aus 50 g Kartoffelstärke wurde mit Wasser ein homogener Kleister hergestellt, bei 40 ° C. derselbe thymolisiert und drei Tage lang mit filtriertem Speichel bei derselben Temperatur stehen gelassen, bis die Blaufärbung mit Jod verschwunden war und das Filtrat keine Erythrodextrin-Reaktion mehr gab. Bei sorgfältigem Vermeiden etwaiger Bräunung wurde das Achroodextrin, welches einen kleinen Teil des Zuckers mitriss, mittels Alkohols ausgefällt und schliesslich, nach dessen Verjagung auf dem Wasserbade, zu dünnem Syrup eingeengt. Von einem hierbei entstandenen flockigen Niederschlag wurde durch Papier abfiltriert und darauf mit dem gleichen Volumen einer Lösung von essigsaurem Phenylhydrazin — es waren 100 g der Base in 300 Teilen 50 %iger Essigsäure gelöst — 30 Minuten lang gekocht. Danach schied sich beim Erkalten ein mächtiger gelber Krystallkuchen aus, in dem die Osazonkrystalle mit den Platten des essigsauren Phenylhydrazins gemischt waren. Da nun dieses Salz, wenn es nochmals mit dem gleichen Volumen 50 %iger Essigsäure versetzt wird, nicht mehr auskrystallisiert, löste ich den Krystallbrei in der Hitze nochmals in der geschilderten Weise, wonach beim Erkalten das Osazon denn auch allein ausfiel. Es wurde nun auf dem Filter gesammelt, mit 50 %iger Essigsäure auf dem Filter gewaschen, und die Essigsäure danach mit Wasser verdrängt. Im Filtrate erzeugte Wasser einen zumeist amorphen Niederschlag, der extra gesammelt, in heissem Alkohol wieder gelöst und aus diesem abermals mit Wasser gefällt wurde. Hierbei liess sich das Osazon ziemlich rein erhalten.

Der auf dem Filter gesammelte Krystallbrei wurde in heissem Alkohol aufgenommen und durch Fällung mit Wasser wieder gewonnen.

Hierauf wurden die gesammelten zwei verschiedenen Osazonausscheidungen vereinigt, über Schwefelsäure im trockenen Luftstrom vom Wasser befreit, in heissem Aceton danach aufgenommen, aus diesem an der Luft nach vorheriger leichter Einengung auf dem Wasserbade krystallinisch erhalten und so endgültig die reinen Osazonkrystalle dargestellt.

Diese Phenylhydrazin-Verbindung hatte den Schmelzpunkt von 202—204° C., welcher dem des von E. Fischer beschriebenen Phenylglukosazons von der Formel: $C_{18}H_{22}O_4N_4$, annähernd entspricht. Die Polarisation wurde nicht bestimmt. Dieser Versuch ergab also als Endprodukt der Speichelverdauung Dextrose im Gegensatz zu der allgemeinen Annahme, dass hauptsächlich Maltose der durch das Speichelptyalin allein gebildete Zucker sei. Bei der Wichtigkeit dieser Frage wurde noch ausser der Schmelzpunktbestimmung zur Vermeidung eines etwaigen Irrtums die Unterscheidung vom Maltosazon dadurch erwiesen, dass die Lösung der Krystalle in heissem Wasser versucht wurde. Während Maltosazon sich in etwa 15 Teilen heissen Wassers löst, blieben die erhaltenen Krystalle ungelöst darin. Es war mithin der Beweis erbracht, dass der aus Kartoffelstärke mittels Speichelptyalin-Verdauung gewonnene Zucker die Phenylhydrazin-Verbindung der Glykose lieferte und **nicht die der Maltose.** Die letztere war also offenbar durch die Speichelverdauung vollständig in Dextrose, durch Zerlegung in die sie zusammensetzenden zwei Moleküle Traubenzucker, übergeführt.

A. 2. 17,7 g Glykogen, frisch dargestellt und mit Alkohol und Aether gewaschen, wurden im luftleeren Raume über Schwefelsäure getrocknet. Das Pulver wurde hierauf in 400 ccm Wasser gelöst und durch Papier filtriert. Das Filtrat wurde mit durchgeseihtem Speichel im Wasserbade der Verdauung ausgesetzt. — Nach Verschwinden der Glykogen-Rotbraunfärbung mit Jod, sowie der Erythrodextrin-Reaktion wurde das Achroodextrin in der geschilderten Weise mit Alkohol ausgefällt, dieser verjagt, zu dünnem Syrup eingeengt, filtriert und hierauf durch Kochen mit der gleichen Menge einer Lösung von essigsaurem Phenylhydrazin das Osazon in Mischung mit den Platten des essigsauren Salzes krystallinisch erhalten. Nach Lösung des Krystallgemisches in heisser 50%iger Essigsäure fiel das Osazon beim Erkalten aus, wurde auf dem Filter mit 50%iger CH_3COOH gewaschen, durch Wasser von dieser befreit, in heissen Alkohol danach aufgenommen, wieder ausgefällt mit Wasser und schliesslich nach vorheriger Trocknung aus heissem Aceton rein dargestellt.

Diese Verbindung entsprach ebenfalls mit ihrem Schmelzpunkt von 204° C. und ihrer Unlöslichkeit in

heissem Wasser dem Phenylglukosazon. Aus thierischer wie aus pflanzlicher Stärke hatte mithin das Speichelptyalin bei dreitägiger Verdauungszeit die Hexobiose Maltose in die sie zusammensetzenden zwei Moleküle des Monosaccharids Glykose zerlegt. Bei normalen Verdauungsverhältnissen kommt eine derart lange Ptyalinverdauung nicht in Frage; bei pathologischen Veränderungen dagegen, bei Ektasieen des Magens und Lähmung seiner motorischen Thätigkeit, welche sich mit Achylie oder doch mit Salzsäure-Mangel paaren, könnte diese Erzeugung des einfachen Zuckers in der Magenhöhle vor sich gehen und bliebe nicht erst der Darmthätigkeit vorbehalten. Es scheint mir dies ein Grund mehr zu sein dafür, vor der Kohlehydrat-Diät bei Achylie zu warnen, einerseits wegen der Gärungsgefahr des Zuckers im Magen, andererseits wegen der zu raschen Aufsaugung grösserer Mengen desselben und des dadurch ermöglichten Auftretens von alimentärer Glykosurie. Es dürfte dies Moment auch ein Streiflicht werfen auf die „glycosuria ex amylo" im Gegensatze zu der „glycosuria ex saccharo" Naunyn's wie auf das von H. Strauss[1]) beobachtete Auftreten der ersteren Form bei Deliranten. Eine vorübergehende nervös-toxische Lähmung des Magens dürfte zwanglos, im Lichte meiner Theorie betrachtet, das Auftreten des Harnzuckers in solchen Fällen erklären, welcher — im Magen gebildet und direct resorbiert — den gewöhnlichen Weg durch die Leber umgehen würde.

Nach dieser Abschweifung gehe ich zur zweiten Gruppe meiner Versuche über, zu den mit Pankreasptyalin verschiedener Herkunft angestellten.

B. 1. Ein Hund wurde zwei Tage lang mit Fleisch und Fett gefüttert und ihm am Vormittage des zweiten Tages die Pankreasfistel angelegt. Bereits nach sechs Stunden begann das Secret aus der Fistel auszufliessen. Nachdem das Thier zwei Ruhetage hiernach gehabt hatte, wurden 50 ccm der mitteldicken Fistelflüssigkeit, welche während $2^1/_2$ Vormittagsstunden gesammelt war, direkt zur Verdauung eines Kleisters aus 100 g Kartoffelstärke verwendet. Bereits nach fünf Minuten trat starke Kupferreduction im Probefiltrat auf. Am folgenden Tage wurde abgeseiht; im Filtrate war weder die

1) H. Strauss, Ueber nichtdiabetische Glykosurieen. Die medizin. Woche 1902 Nr. 6 S. 56.

Stärke- noch die Erythrodextrin-Reaktion mehr mit Jod erhältlich; dagegen fiel Achroodextrin auf Alkoholzusatz daraus nieder und riss 1,666 % Zucker mit. Nachdem nun am folgenden Tage mit Essigsäure angesäuert und durch nachfolgendes Kochen das Eiweiss auscoaguliert war unter gleichzeitiger Verjagung des Alkohols, wurde vom Niederschlag abfiltriert, die Flüssigkeit zu dünnem Syrup eingeengt und in der geschilderten Weise nach Zusatz von essigsaurem Phenylhydrazin das Osazon erhalten, mittels Essigsäure von der überschüssigen Base befreit und die Krystalle nach Aufnahme in C_2H_5OH daraus zu erhalten gesucht, nachdem sie durch vorsichtiges Abgiessen von der Mutterlauge getrennt waren. Die Krystalle waren auffallend weich und leicht zerdrückbar und lösten sich zwar im Alkohol auf, dagegen misslang das Erhalten der krystallinischen Verbindung aus dieser Lösung vollkommen. Eine Schmelzpunktbestimmung konnte ich daher bei diesem Versuche nicht anstellen.

B. 2. Aus dem bereits leicht fauligen Fistelsecret wurde das Ferment mit Alkohol ausgefällt; von einem Darstellungsversuche des diastatischen Ferments allein nach Danilewski oder Cohnheim wurde in Anbetracht dieser doch nicht zuverlässigen und umständlichen Methoden abgesehen, zumal die Mitfällung des Trypsins und des Steapsins in diesem Pankreatin für meine Zwecke belanglos blieb. Hierauf wurden die Enzyme in Wasser aufgenommen, wodurch — unter Berücksichtigung des geringen Alkoholzusatzes — eine gut wirksame und haltbare Fermentmischung erhalten wurde. Diese Lösung wurde einem Kleister von 24 g Kartoffelstärke zugesetzt und dieser damit im Wasserbade bei 40 ° C. verdaut. Nach Verschwinden der Jodreaktionen und Beseitigung des Achroodextrins und der Eiweissstoffe wurde das Filtrat in der geschilderten Weise eingeengt, die Phenylhydrazin-Verbindung des entstandenen Zuckers daraus dargestellt, wieder gelöst, gewaschen, aus Alkohol und Aceton umkrystallisiert und der Schmelzpunkt des erhaltenen Osazons bestimmt. Derselbe lag mit 191° C. dem des Galaktosazons von der Formel: $C_{18}H_{22}N_4O_4$ (von 193 ° C. nach Emil Fischer, l. c.) am nächsten. Offenbar war also bei diesem Versuche nicht die Zerlegung des Polysaccharids in der gewöhnlichen Weise vor sich gegangen, indem aus Isomaltose Maltose[1]) gebildet wird, und aus dieser wieder Glykose durch Zerfall

1) v. Mering und Musculus, Untersuchungen über die ungeformten Fermente. Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 2. 1878/1879.

in ihre zwei Glucit-Aldehyd-Moleküle entsteht, sondern es war der Aldehyd des anderen stereoisomeren sechswertigen Alkohols, des Dulcits, aus der Kartoffelstärke gebildet worden. Zur Erklärung dieses auf den ersten Blick verblüffenden Ergebnisses dürften aber die den umgekehrten Weg gegangenen Experimente Th. Bokorny's[1]), M. Cremer's[1]) und Arthur Meyer's[1]) wesentlich beitragen. Die zwei ersten Forscher fanden nämlich, dass Kartoffeltriebe und Chlorophyllkörner aus den verschiedenen Monosacchariden in gleicher Weise Stärke zu bilden vermögen, während Meyer nachwies, dass aus den stereoisomeren sechswertigen Alkoholen ebenso wie aus ihren Oxydationsproducten, den verschiedenen Monosacchariden, und aus deren Zusammenlagerungen zu Hexobiosen entstärkt gewesene Laubblätter in gleicher Weise Polysaccharide zu bilden vermögen.

Bei der bereits bestehenden Bakterienwirkung ist es allerdings nicht ausgeschlossen, dass in diesem Versuche ein organisiertes Ferment seine Wirkung entfaltete; immerhin ist auch dann ein Hinweis auf die im Darme erfolgende Kohlehydrat-Zerlegung gegeben.

B. 3. Da das Schweinepankreas nach Roberts'[2]) einen besonders hohen Gehalt an Diastase aufweist, so stellte ich mir aus einem solchen von 60 g Gewicht durch Zerreiben mit Sand und Glycerin ein frisches Extract her.

Mit 10 ccm dieses Glycerinextractes wurde ein Kleister aus 24 g Kartoffelstärke diastasiert.

Nach Darstellung des Osazons in der geschilderten Weise und Umkrystallisieren desselben aus heissem Alkohol und schliesslich aus heissem Aceton erhielt ich einen Schmelzpunkt dafür von 207—208 ° C., annähernd dem des Maltosazons, den E. Fischer gegen 206 ° C. fand, also fast 20 ° C. höher als der jener Zuckerverbindung war, welche ich nach Stärkediastasierung mit Hundepankreas-Fistelsaft erhalten hatte. Es waren also dort entweder, wie schon erwähnt, diastasierende Bakterienfermente im Spiele, oder die Pankreasptyaline der verschiedenen Thierarten sind nicht nur, wie Roberts bereits feststellte, hinsichtlich ihrer quantitativen, sondern auch bezüglich ihrer quali-

1) Cit. bei Richard Neumeister, Lehrb. d. physiol. Chemie, 2. Aufl., S. 327. Jena 1887, G. Fischer.

2) Roberts citiert bei Gamgee, Die physiologische Chemie der Verdauung. Deutsch von Adler und Beyer. Leipzig und Wien 1897, Fritz Deuticke.

tativen Wirkung, d. h. bezüglich der aus Stärke durch sie gebildeten Zuckerarten, verschieden. Für diese letztere Annahme spricht auch die Thatsache, dass der um ca. 3° C. höhere Schmelzpunkt als derjenige des Glukosazons einer Zuckerverbindung angehört, welche bisher noch nicht beschrieben worden ist, oder höchstens der seines Disaccharids Maltose, wobei der Ausfall der Invertierung durch den Pankreassaft auffallend wäre. Dass es sich thatsächlich **nicht um Phenylglukosazon** handelte, wies ich in der Weise nach, dass ich mit concentrierter Chlornatrium-Lösung eine Probe des fraglichen Zuckers zur freien Verdunstung aufstellte: Während nun aus gleichzeitig aufgestellten Proben von diabetischem Harn mit concentrierter NaCl-Lösung, sowie aus einer Mischung von 1,33 Theilen Kochsalz und 8,67 Theilen Harnzucker die Zucker-Chlornatrium-Krystalle sich schön ausschieden, krystallisierte nach Ausscheidung des Kochsalzes und Absaugen davon aus dem dicken Pankreas-Zucker-Syrup nichts mehr aus. Es ist damit die Annahme nahegelegt, dass **differente Zucker durch Pankreasptyalin aus Stärke gebildet werden, die auch von den durch Speicheldiastasierung erhaltenen verschieden sind.**

Eine frische, 1400 g schwere und sehr glykogenreiche Schweineleber von einem Thiere, das vier Tage lang mit Reis gefüttert worden war, wurde in der üblichen Weise zunächst in der Fleischhackmaschine und alsdann durch Zerreiben mit Sand zerkleinert. Der Brei wurde alsdann mit Wasser aufgeschwemmt und, gut thymolisiert, der Selbstverdauung bei 40° C. zwei Tage lang überlassen.

Danach filtrierte ich durch einen Spitzbeutel, kochte diesen mit dem Breirückstand in Wasser aus und vereinigte das Filtrat hiervon mit der Hauptmasse. Die Flüssigkeit wurde hierauf mit CH_3COOH angesäuert, worauf ein — im Ueberschuss der Essigsäure unlöslicher — Niederschlag von Nukleïn entstand, welches aus den Nukleoalbuminen des Breies abgespalten war.

Von diesem Niederschlag wurde abfiltriert, zurückneutralisiert und nach nochmaligem schwachem Ansäuern das Eiweiss durch Kochen auscoaguliert. — Nach Abseihen von diesem Coagulat ergab das Filtrat weder Neutralisationsniederschlag mehr, noch enthielt es

ein coagulables Eiweiss. Es wurde nunmehr auf ein Sechstel eingeengt. Um die Gegenwart von Nuklein in dieser Flüssigkeit völlig auszuschliessen, kochte ich zur eventuellen Abspaltung der Phosphorsäure aus dem Nuklein mit Salzsäure; die Phosphorsäure-Reaktion mit molybdänsaurem Ammoniak fiel jedoch vollkommen negativ aus.

Nunmehr wurde die Flüssigkeit eingeengt und mit dem halben Volumen Alkohol ein zäher, harziger Niederschlag erzielt, von dem durch Papier getrennt wurde. Während der Niederschlag keine Zuckerreaktion gab, reducierte das Filtrat Kupfer stark. Es wurde nunmehr auf dem Wasserbade der Alkohol verjagt und hierauf mit alkoholischer Aetzkalilösung der Zucker in seiner Kaliverbindung ausgefällt. Dieses Verfahren wurde mehrmals wiederholt und die Niederschläge gesammelt. Letztere hafteten zähe an den Glaswänden und liessen sich so leicht von den Cu noch immer reducierenden Filtraten trennen. Nach Rückneutralisierung der Filtrate und Vereinigung derselben wurde eingeengt.

Die Kali-Zucker-Niederschläge vergoren in wässriger Lösung. Die Titrierung und Polarisation ergab 2,9 % Dextrose.

Als ich nun in der gewohnten Weise mit essigsaurem Phenylhydrazin das Osazon darzustellen versuchte, entstand ein wässriger, braunschwarzer, amorpher Niederschlag, von dem die Substanz auf keine Weise zu befreien war.

Mit essigsaurem Natron und Phenylhydrazin dagegen gelang es mir, aus dem Kalizucker, nicht aber aus dem zuckerhaltigen Filtrate, die Osazonkrystalle zu erhalten in der Weise, dass 30 g der Base und 20 g essigsaures Natron in heissem Wasser gelöst, filtriert und mit dem gleichen Volumen wässriger Kali-Zucker-Lösung versetzt und danach eine Stunde lang gekocht wurden.

Beim Erkalten fiel das Osazon mit einem amorphen, harzigen Niederschlag gemischt aus; derselbe war leicht von den Krystallen zu trennen, da er sich in siedendem Alkohol, in den ich letztere aufnahm, unlöslich zeigte. Aus C_2H_5OH gewonnen, wurde das Osazon in heissem Aceton gelöst und auf dem 60° C. warmen Wasserbade hieraus langsam zum Auskrystallisieren gebracht.

Das so erhaltene Osazon hatte den Schmelzpunkt von 204 bis 205° C., während das aus dem Alkohol ausgefallene um 1° niedriger, bei 203—204° C., schmolz. Es handelte sich also abermals um Glukosazon, die Phenylhydrazin-Verbindung des Traubenzuckers.

C. 2. Ein Hund wurde zwei Tage lang mit Reis gefüttert,

danach getötet und die lebenswarme Leber gewogen, möglichst schnell zerkleinert und mit Sand und Wasser zerrieben. Die Leber wog 550 g und wurde nach Thymolisierung der Selbstverdauung bei 40 ° C. ausgesetzt. Nach Verschwinden der Jodreaktionen stellte ich den Kalizucker in der geschilderten Weise daraus dar. In diesem Falle gelang es, die Osazonkrystalle auch aus dem Filtrate zu erhalten. Nach mehrmaligem Waschen und Umkrystallisieren bestimmte ich den Schmelzpunkt der aus Aceton erhaltenen Krystalle mit 204 ° C., dem des Glukosazons. — Der durch die Leberzellen gebildete Zucker ist also in allen Fällen stets Dextrose und erfährt mithin keine spätere Umwandlung mehr.

D. 1. Aus ungeschrotener Malzgerste stellte ich mir ein wässriges Diastase-Extract her; dasselbe verdarb jedoch so schnell, dass ich mir ein anderes — aus fast ½ kg Gerste — mit Glycerin anfertigte. Da dieses Extract Kupfer stark reducierte, setzte ich nur 10 ccm davon einem Kartoffelstärke-Kleister zu und stellte auf's Wasserbad von 60 ° C., da das Optimum der Temperatur für Pflanzendiastase zwischen 55 und 63 ° C. liegt. Nach zwei Tagen wurde filtriert, eingeengt, das Achroodextrin beseitigt und das Osazon in heissem Wasser, aus dem es beim Erkalten ausfiel, gelöst. Diese Löslichkeit in heissem Wasser zeigte seine Identität mit Phenylmaltosazon. Eine Schmelzpunktbestimmung unterblieb.

D. 2. Dasselbe Diastase-Extract wurde zur Einwirkung auf Glykogen verwendet. Es schieden sich die schön charakteristischen Nadeln des Phenylmaltosazons aus. Auch bei diesem Versuche wurde die Identificierung mit der genannten Verbindung lediglich durch die Löslichkeit derselben in heissem Wasser ohne Schmelzpunktbestimmung durchgeführt.

(Aus dem gerichtl.-med. Institut der Universität Genua [Prof. A. Severi].)

Zur Kenntniss der Duodenalverdauung des Eiweisses, in der Leiche untersucht.

Von

Dr. **Carlo Ferrai,** Assistent.

(Mit 3 Textfiguren.)

Als ich voriges Jahr das Ergebniss meiner Untersuchungen über die postmortale Verdauung des Eiweisses im Magen veröffentlichte, versprach ich auch die von mir gleichzeitig über die duodenale Verdauung unter gleichen Bedingungen angestellten Versuche nach ihrer Vervollständigung mitzutheilen. Eigentlich berührt die Ergründung dieses Problems nicht direct die gerichtlich-medicinische Praxis, immerhin scheint mir dasselbe von ungemeinem tanatologischem Interesse zu sein, indem es uns Gelegenheit bietet, das Vorkommen und Fortbestehen gewisser Vorgänge in der Leiche näher zu erforschen, die bedingt sind entweder durch eine überlebende Parenchymalthätigkeit oder durch die bereits im Leben gebildeten Secretionsproducte derselben. Andererseits bot sich mir dadurch die erwünschte Gelegenheit, gewisse Einzelheiten der Eiweissverdauung im Duodenum nach einer neuen Methode zu erforschen, die vielleicht dazu geeignet sein dürfte, einige neue Thatsachen zu der reichen Fülle von hochwichtigen Ergebnissen, die Paulow und seine Schüler der Wissenschaft errangen, hinzuzufügen.

Zuerst wandte ich mich dem Studium der proteolitischen Wirkung des Duodenuminhalts zu, als diejenige, die am leichtesten messbar und in Zahlen auszudrücken ist. Als Versuchsobject diente mir geronnenes Eiweiss, das ich dadurch erhielt, dass ich ganz frische Eier während 10 Min. in siedendem Wasser kochen liess und dann aus denselben kleine Kuben von genau 250 mg Gewicht herausschnitt. Selbstverständlich wurden diese Würfelchen jedes Mal

vor dem Versuche, in dem sie Verwendung fanden, frisch präparirt, und damit sie ja nichts durch Verdunstung an Gewicht verlieren, wurden sie für die Dauer der wenigen Augenblicke, die zwischen ihrer jedesmaligen Herstellung und Verwendung verflossen, in einer feuchten Kammer aufbewahrt.

War die Zeit da, zur Operation vorzuschreiten, wurde der Hund schnell gefesselt und festgelegt: die Bauchhöhle wurde unterhalb des Rippenbogens eröffnet, der Magen herausgezogen und mittelst einer, um die untere Magenöffnung locker gelegte Schlinge isolirt. Hierauf wurde die Magenwand aufgeschnitten, die untere Magenöffnung mit einem Wattebausch sorgfältig ausgeputzt, und während ein Assistent die beiden Magenzipfel aus einander hob, um eine Beschmutzung des Operationsfeldes durch den Mageninhalt zu vermeiden, schob ich durch die nunmehr leicht zugängliche Oeffnung des Pilorus rasch acht der bereit gehaltenen Eiweisskuben in den Zwölffingerdarm, zog die Schlinge augenblicklich zu und brachte den Magen in die Bauchhöhle zurück; dann wurden die Ränder der Bauchwand fest zusammengeklemmt und der Hund vermittelst Bulbärstiches getödtet. Die ganze Operation dauerte natürlich wenige Augenblicke, so dass auch in den ungünstigsten Fällen zwischen der Einführung des ersten Würfels in den Darm und dem Bulbärstich nie mehr als $^{3}/_{4}$ bis 1 Min. verflossen, dabei unterblieb grundsätzlich die Verwerthung derjenigen Versuche, deren Dauer diese Grenzen aus irgend einer Ursache überschritt.

Die Leichen der Thiere wurden auf die Seite gelegt und horizontal gelagert in einem nicht allzu schroffen Temperaturschwankungen ausgesetzten Raum; darauf erfolgte zur bestimmten Zeit die Section, die Klemmen wurden entfernt, die Kuben sorgfältig herausgezogen und gereinigt und ein jedes derselben einzeln gewogen.

Die zu diesen Versuchen verwendeten Hunde waren möglichst von annähernd gleichem Gewicht und immer von geringer Grösse. Es wurde, soweit als möglich, dafür Sorge getragen, dass sich die Thiere immer unter gleichen Experimentalbedingungen befanden, und ganz besonders achtete ich darauf, dass sie seit einiger Zeit an Fleischkost gewöhnt waren; wer Paulow's Untersuchungen kennt, wird diese Vorsichtsmaassregeln vollkommen rechtfertigen. Wirklich hatte ich bei einer ganzen Anzahl Versuche, den ersten, bemerkt, dass die Ergebnisse nicht sehr in Einklang unter einander standen, und ich öfters Zahlen erhielt, die weit von den erwarteten ab-

wichen; sämmtliche Thiere stammten aus dem städtischen Stabularium, und ich erklärte mir diesen Umstand leicht aus der Verschiedenartigkeit der Kost, an welche die Thiere je nach der ökonomischen Lage und Freundlichkeit ihres ehemaligen Herren gewöhnt waren. Dass ein solcher Umstand thatsächlich im Stande ist, die Versuchsergebnisse merklich zu stören, erhellt aus den Versuchen Wassiljew's. Dieser fand, dass ein während anderthalb Monaten ausschliesslich mit Milchsuppe ernährter Hund, dessen Pankreassaft während der ersten sechs Stunden nach der Mahlzeit ein Verdauungsvermögen von kaum 0,25 mm (nach der Mett'schen Methode gemessen) besass, sobald er einige Tage lang mit Fleisch gefüttert wurde, in den sechs unmittelbar auf die Mahlzeit folgenden Stunden einen Pankreassaft abzusondern vermochte, dessen proteolitische Wirkung 3,5 mm gleich kam. Und umgekehrt liess Jablonsky einen an Fleischkost gewöhnten Hund während einer gewissen Zeit nur Milchsuppe verabreichen; die anfangs sehr starke proteolitische Wirkung des Pankreassaftes dieses Thieres war bereits nach 30, 40, 52, 76 Tagen auf 4 — 2,2 — 1,25 — 0 mm (nach Mett) herab gesunken.

Eine erste Versuchsreihe wurde in der Absicht angestellt, den Verlauf der Eiweissverdauung im Duodenum des Cadavers, je nach der mehr oder minder langen Zeit, während welcher die Eiweisskuben selbst im Darme verblieben, zu ermitteln. Da das Duodenum zu jeder Zeit der Verdauung eine bestimmte Menge Pankreassaft von bestimmter Concentration enthalten muss, ist es leicht verständlich, dass das in dasselbe eingeführte geronnene Eiweiss alsbald der tripsinischen Verdauung anheimfällt, ähnlich wie die Eiweissröhrchen, die Mett in einer Wärmekammer der Einwirkung des Pankreassaftes aussetzte. Bei diesen vollzog sich die Verdauung im Brutofen bei constanter Temperatur und in ganz reinem Pankreassaft, und daher war auch ihre Intensität eine der Dauer direct proportionale, wie bereits Ssamojloff nachgewiesen hatte. Das verschiedene Medium, die Erkaltung der Leiche, die durch die Anhäufung der Verdauungsproducte in einer beschränkten Flüssigkeitsmenge bedingte Abschwächung und Hemmung des Verdauungsvermögens der Enzyme, trugen in unserem Falle dazu bei, ganz verschiedene Verhältnisse zu schaffen, die auch den Verlauf der Erscheinung wesentlich verschieden gestalten mussten. Eben der Einfluss dieser Bedingungen war es, den ich zunächst in dieser Ver-

suchsreihe näher zu ermitteln beabsichtigte, indem ich mir die Frage stellte: In welchem Maasse und auf welche Dauer entfaltet der Duodenuminhalt eines in vollem Gange der Verdauung getödteten Thieres seine proteolitische Wirkung? Die zu diesem Zwecke angestellten Versuche waren fünf an der Zahl. Die Einführung der Eiweisskuben und zugleich die Tödtung der Thiere erfolgte jedes Mal anderthalb Stunden nach der Fütterung, die Würfel verblieben 2, 4, 6, 8 und 10 Stunden im Darm des Cadavers. Ein längeres Verbleiben der Eiweisskuben in demselben wurde vermieden, um möglichst das Dazwischentreten von Fäulnissvorgängen zu verhüten, dann aber auch, weil die Verdauungsprocesse inzwischen fast vollkommen erloschen waren.

1. Versuch.

Hund O. Gewicht ca. 6 kg. 15. Juni 1900. Aeussere Temperatur 27° C. Um 11 h 30′ Nachm. bekommt das Thier etwas gesottenes Fleisch. 3 h: Laparotomie, Eröffnung des Magens und Einführung durch den unteren Magenmund in den Zwölffingerdarm von 8 Eiweisswürfeln von je 250 mg Gewicht. Die Schlinge um den Pilorus wird angezogen, die Bauchhöhle festgeklemmt und das Thier vermittelst Bulbärstiches getödtet. 5 h Abends: Obduction. Rectaltemperatur 36°. Die Eiweisskuben erscheinen gelb verfärbt; ihre Oberfläche zeigt eine zarte Körnung, und die Würfel selbst lassen sich mit Ausnahme des mittleren Kernes leicht zwischen den Fingern zerreiben.

Gewichtsverlust der Kuben (ursprüngliches Gewicht 250 mg) nach 2 Stunden postmortaler Verdauung: 80, 84, 79, 68, 74, 91, 77, 81 mg; mittlerer Verlust 79 mg = 31,5 %, pro Stunde 15,8 %.

2. Versuch.

Hund P., weiblichen Geschlechts, wiegt ungefähr 5 kg. 14. Juli 1900. Aeussere Temperatur 26—28° C. Nachm. 1 h: Verabreichung von etwas Fleisch. 2 h 30′ Laparotomie; Einführung von 8 Eiweisskuben in das Duodenum; Tödtung. 6 h 30′: Obduction. Rectaltemperatur 32,1°. Die Würfel erscheinen stark gelb verfärbt; ihre Korrosion ist nicht viel deutlicher ausgeprägt als bei vorigem Versuch, doch ist ihre äussere Schicht in hohem Maasse zwischen den Fingern zerreibbar.

Gewichtsabnahme nach 4 Stunden postmortaler Verdauung (ursprüngliches Gewicht 250 mg): 110, 122, 118, 106, 103, 125, 117, 111 mg; mittlere Abnahme 114 mg = 45,5 %, pro Stunde 11,4 %.

3. Versuch.

Hund R. Gewicht ca. 5 kg. 21. Juni 1900. Aeussere Temperatur 25—27° C. 1/28 h Morgens wird dem Thier etwas Fleisch verabreicht. Um 10 h: Eröffnung des Magens und Einführung von 8 Eiweisskuben von je 250 mg in den Zwölffingerdarm. Nachm. 4 h: Obduction. Rectaltemperatur 27° C. Würfel tiefgelb, breiig, zerreiblich.

Gewichtsverlust der Kuben während 6 Stunden postmortaler Verdauung (eines derselben konnte nicht nachgewogen werden wegen zufälliger Verbröckelung) 139, 132, 150, 135, 112, 142, 149 mg; mittlerer Verlust 137 mg = 54,9 %, pro Stunde 9,1 %.

4. Versuch.

Hund S. Gewicht ca. 6 kg. 27. Juni 1900. Aeussere Temperatur 24—26° C.

9h 30′: Das Thier bekommt etwas gesottenes Fleisch. 11h: Laparotomie; Einführung durch den Magen in das Duodenum von 8 Kuben geronnenes Eiweiss im Gewicht von je 250 mg. Unmittelbar darauf wird das Thier getödtet. 7h Abends: Obduction. Rectaltemperatur 26,2° C. Würfel tief orangegelb verfärbt, stark reducirt und bröcklig.

Gewichtsabnahme der einzelnen Kuben nach 8 Stunden postmortaler Verdauung: 138, 149, 142, 125, 157, 150, 155, 167 mg; mittlerer Verlust 147,8 mg = 59,1 %, pro Stunde 7,5 %.

5. Versuch.

Hund T. Geschlecht weiblich. Gewicht ca. 5 kg. 30. Juni 1900. Aeussere Temperatur 25—27° C.

Um 8h wird dem Thier etwas gesottenes Fleisch dargereicht. 9½h: Eröffnung des Magens und Einführung in den Zwölffingerdarm von 8 Kuben geronnenes Eiweiss im Gewicht von je 250 mg. Tödtung des Thieres mittelst Bulbärstiches. Abends 7h 30′: Obduction. Rectaltemperatur 26,6° C. Die Kuben zeigen das gleiche Aussehen wie oben.

Ihr Gewichtsverlust während 10 Stunden postmortaler Verdauung beträgt: 149, 140, 152, 128, 163, 151, 159, 157 mg; mittlerer Verlust 151 mg = 60,4 %, pro Stunde 6 %.

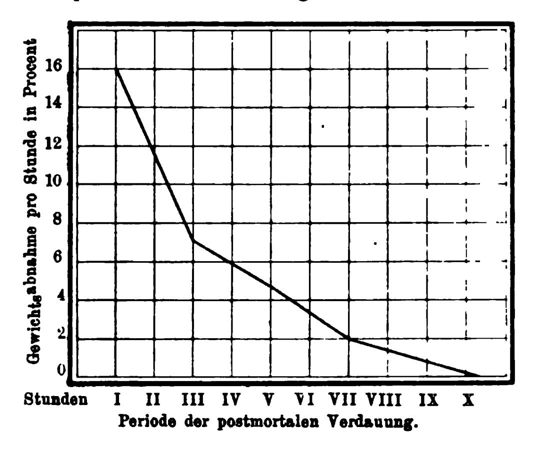
Obige Ergebnisse habe ich in folgender Tabelle übersichtlich zusammengefasst.

Tabelle I.

Hund	Gewicht kg	Temperatur ° C.	Verbleib d. Kuben im Duodenum Stunden	Rectaltemperatur z. Zeit d. Obduction ° C.	Totale mittlere Gewichtsabnahme per 250 mg		Mittlere Gewichtsabnahme p. Stunde %	Abnahme p. Stunde ber. von 2 zu 2 St. %
					mg	%		
O.	6	27	2	36,0	79	31,5	15,8	15,8 1. u. 2. St.
P.	5	28	4	32,1	114	45,5	11,4	7 3. u. 4. St.
R.	5	26	6	27,6	137	55	9,1	4,7 5. u. 6. St.
S.	6	25	8	26,2	148	59	7,5	2 7. u. 8. St.
T.	5	26	10	26,6	151	60,4	6	0,7 9. u. 10. St.

Die Zahlen der letzten Spalte zeigen uns die Intensität des Verdauungsprocesses während der zwei Stunden, um die jedes einzelne Experiment das unmittelbar vorangehende an Dauer übertrifft. Ich erhielt dieselben, indem ich jedes Mal von dem mittleren Gewichtsverlust der Eiweisskuben des betreffenden Versuches, den mittleren Gewichtsverlust derselben in dem unmittelbar vorangehenden subtrahirte und den also erhaltenen Werth dann durch 2 (der Zahl der Stunden entsprechend) dividirte. Diese Zahlen sind es, die uns in deutlichen Zügen den zeitlichen Verlauf des gesammten Processes vorführen. Während der Gewichtsverlust in den zwei ersten Stunden 31 %, also 15,8 % in der Stunde beträgt, ist derselbe bereits in der

Fig 1. Verlauf der proteolitischen Wirkung des Pankreassaftes nach dem Tode.

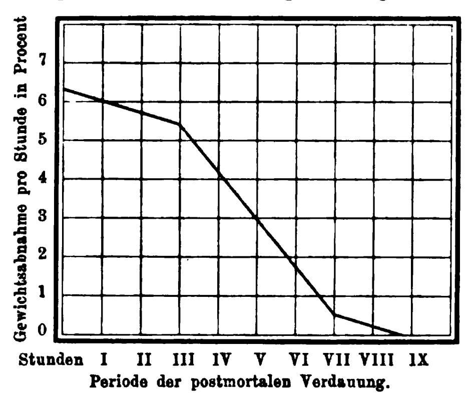


dritten und vierten auf 7 % reducirt, und in der siebenten und achten sogar schon auf 4,7 %. Ueber diese Zeit hinaus erstreckt sich die proteolitische Wirkung kaum; in der 7. und 8. Stunde beträgt der Gewichtsverlust der Eiweisskuben thatsächlich nur 2 %, und während der 9. und 10. Stunde ist er auf 0,7 % beschränkt.

Freilich können diese Zahlen nur auf eine annähernde Genauigkeit Anspruch machen, doch erscheint immerhin die Annahme berechtigt, dass mit der 8. Stunde jegliches Verdauungsvermögen im Darme so gut wie erloschen ist. Wenn wir bedenken, dass diese Versuche in einer Jahreszeit angestellt wurden, wo die äussere Temperatur eine ziemlich hohe war, dürfen wir wohl annehmen, dass unter gleichen Bedingungen die Dauer der postmortalen Verdauung im Duodenum derjenigen im Magen beinahe gleichkommt.

Wollten wir diese Verhältnisse durch eine Curve darstellen (Fig. 1), so würde der erste Theil derselben, entsprechend den ersten 3—4 Stunden postmortaler Verdauung, steil abfallen, um dann allmählich einen minder steilen Verlauf anzunehmen. Ein Vergleich mit der Curve, die dieselben Verhältnisse bei der postmortalen Verdauung im Magen ausdrückt (Fig. 2), würde uns belehren, dass, obgleich beide Curven fast gleichzeitig auf Null herabsinken, ihr Verlauf nichtsdestoweniger ein wesentlich verschiedener, ich möchte fast sagen entgegengesetzter ist, denn während die Curve des Zwölffingerdarmes erst schnell und dann langsamer abfällt, verläuft die Curve des Magens während der ersten 3 Stunden fast horizontal, um dann ganz plötzlich und steil auf Null herabzusinken.

Fig. 2. Verlauf der proteolitischen Wirkung des Magensaftes nach dem Tode.



Diese Ergebnisse bieten uns wohl ein deutliches Bild der Art und Weise, wie die Eiweissverdauung im Leichenduodenum verläuft; um jedoch die einzelnen Momente näher zu bestimmen, welche das Verdauungsbild in seinen Einzelheiten bedingen, hielt ich es für geboten, neben dem Einfluss der Temperatur auch denjenigen der Anhäufung der Eiweissverdauungsproducte im Darme näher zu untersuchen. Zu diesem Zwecke habe ich eine weitere Versuchsreihe an Hunden unternommen, deren Veröffentlichung ich mir vorläufig noch vorbehalte. Bei diesen Versuchen blieb der Abstand zwischen der in Bezug auf Menge und Qualität identischen Mahlzeit und dem Tode constant, während die Einführung der Eiweisskuben in den Duodenum in immer grösseren Zwischenräumen nach demselben erfolgte.

Um zu ermitteln, in welchem Maasse sich der Einfluss der äusseren Temperatur auf die Intensität der Eiweissverdauung im

Duodenum der Leiche fühlbar machte, wurde eine zweite, im Folgenden kurz mitgetheilte Versuchsreihe angestellt. Da in unserem Falle auch noch die innere Temperatur der Leiche mit im Spiel war, die sich nur langsam mit der äusseren Temperatur ausgleicht, hätte man erwarten dürfen, dass die Ergebnisse dieser Versuche von den der in vitro vorgenommenen Experimente ganz wesentlich abweichen würden. Es variirte also bei diesen Versuchen, 3 an der Zahl, bloss die äussere Temperatur, während der Zeitraum zwischen Mahlzeit und Tod und die Dauer des Verbleibens der Eiweisskuben im Darm (8 Stunden) constant blieben. Beim ersten betrug dieselbe 10—12°, beim zweiten 16—18°, beim dritten Versuch endlich 32° C.; bei letzterem wurde der Hund in eine auf diese Temperatur erhitzte Wärmekammer gebracht.

6. Versuch.

Hund U. Gewicht 5½ kg. 14. März 1901. Aussere Temperatur 10—12° C.

8h Morgens: Das Thier bekommt etwas Fleisch. 9h 30′: Laparotomie; 10 Kuben geronnenes Eiweiss werden auf dem üblichen Wege in den Zwölffingerdarm eingeführt. Auch im Uebrigen verfährt man ganz wie in den vorigen Versuchen. Abends 5h 30′, also 8 Stunden nach dem Tod: Obduction. Die Würfel erscheinen zusammengeschrumpft, gelb verfärbt; der maximale Verlust beträgt 153, der geringste dagegen 126 mg. Die mittlere Gewichtsabnahme ist gleich 137 mg, d. h. 55% und pro Stunde 6,9%.

7. Versuch.

Hund V. Geschlecht weiblich. Gewicht 5 kg. 11. Mai 1901. Aeussere Temperatur 16—18° C.

Um 7h 30′ Morgens wird dem Thier etwas Fleisch verabreicht. 9h: Einführung wie oben von 10 Kuben geronnenes Eiweiss in den Zwölffingerdarm; unmittelbar darauf wird das Thier vermittelst Bulbärstiches getödtet. 8 Stunden nach dem Tode: Obduction. Rectaltemperatur 22,5° C. Die grösste beobachtete Gewichtsabnahme stellt sich auf 162 mg, die geringste auf 130; mittlere Abnahme der 10 Würfel: 141 mg = 55%, pro Stunde 7,1%.

8. Versuch.

Hund Z. Gewicht 5½ kg. 19. März 1901.

8h: Darreichung von etwas Fleisch. Um 9h 30′ wird das Thier, nachdem die Einführung von 10 Eiweisskuben auf übliche Weise stattgefunden hat, getödtet und in einen Thermostat gebracht, wo die Leiche 8 Stunden bei einer Temperatur von 32° G. verbleibt. 5h 30′ Nachm.: Obduction. Rectaltemperatur 33° C.

Gewichtsverlust der Würfel: maximaler 160 mg, minimaler 133 mg. Mittlerer Verlust: 146 mg = 58,5%, pro Stunde 7,4%.

Fügen wir zu diesen 3 Versuchen noch den 4. aus der ersten Versuchsreihe hinzu (s. S. 531), der sich unter ähnlichen Bedingungen, aber bei einer äusseren Temperatur von 25° C. abspielte, wird uns folgende Tabelle über die hier waltenden Verhältnisse belehren.

Tabelle II.

Hund	Gewicht kg	Temperatur ° C.	Zwischen Fleischmahlzeit u. Tödtung verflossene Zeit Stunden	Verbleib d. Kuben im Duodenum Stunden	Rectaltemperatur z. Zeit d. Obduction ° C.	Totale mittlere Gewichtsabnahme per 250 mg		Mittlere Gewichtsabnahme p. Stunde %
						mg	%	
U.	5½	10-12	1½	8	21,4	137	55	6,9
V.	5	16-18	1½	8	22,5	141	56,5	7,1
S.	6	25	1½	8	26,2	148	59	7,5
Z.	5½	32 Thermost.	1½	8	33	146	58,5	7,4

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass der Einfluss der äusseren Temperatur auf den Verlauf der postmortalen Verdauung im Duodenum, im Gegensatz zu meiner früher, auf Grund der trügerischen Ergebnisse einiger Präliminarversuche geäusserten Meinung, ein sehr geringer sein muss. Unter gleichen Bedingungen wäre der Einfluss der äusseren Temperatur auf die Verdauung im Magen ein viel tiefgreifenderer gewesen.

Ich glaube den Grund dafür darin suchen zu dürfen, dass die ausgiebigste Verdauung des Eiweisses im Duodenum während der 3 ersten Stunden post mortem stattfindet, wie dies aus der ersten Tafel deutlich ersichtlich ist, während im Magen das Gegentheil geschieht. Aber gerade während dieser Zeit wird die äussere Temperatur, wie niedrig sie auch sein mag, kaum im Stande sein, die innere Temperatur der Leiche dermaassen herabzusetzen, dass eine Schwächung der proteolitischen Wirkung des Pankreassaftes zu Stande kommen kann, denn nach 3 Stunden ist die Temperatur im Rectum noch nicht viel unter 30° gesunken. Der Einfluss der äusseren Temperatur erstreckt sich erst auf eine spätere Periode, in der bereits die proteolitische Wirkung des Duodenuminhaltes fast vollständig erschöpft ist, so dass die dadurch bewirkte Schwächung in derselben kaum mehr fühlbar ist.

In einer dritten Versuchsreihe liess ich, bei ungefähr constanter äusserer Temperatur und gleich langem Verbleiben der Eiweisskuben

im Darme (6 Stunden), den Zeitraum zwischen der Mahlzeit und der Einführung der Kuben in den Duodenum (und gleichzeitiger Tödtung der Thiere) variiren. Bei den ersten 8 Versuchen wurden die Thiere in immer grösseren Zeiträumen von 1/2, 1, 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 3 1/2, 4 Stunden nach der Mahlzeit getödtet, in den 4 letzten erst nach 5, 6, 7 und 8 Stunden.

Im Folgenden gebe eine kurze Beschreibung dieser Versuche:

9. Versuch.

Hund *α*. Gewicht ca. 5 kg. 16. December 1900. Aeussere Temperatur 10—13° C.

Um 10h Morgens erhält das Thier etwas gesottenes Fleisch. Um 10h 30′, d. h. nach einer halben Stunde vitaler Verdauung, Laparotomie und Einführung von 8 Eiweisskuben in das Duodenum. Unmittelbar darauf wird das Thier getödtet. 4h 30′ Nachm. Obduction. Rectaltemperatur 24,3° C. Gewichtsverlust der Eiweisskuben (ursprüngliches Gewicht 250 mg) nach 6 Stunden postmortaler Verdauung 86, 88, 99, 92, 97, 100, 82, 95; mittlerer Verlust 92,5 = 37 %, pro Stunde 6,2 %.

10. Versuch.

Hund *β*. Gewicht 5 1/2 kg. 2. Februar 1901. Aeussere Temperatur 12° C.

Das Thier frisst Morgens 10h etwas gesottenes Fleisch. Um 11h (1 Stunde nach der Mahlzeit): Laparotomie, Eröffnung des Magens und Einführung von 8 Eiweisskuben in das Duodenum. Die Bauchwand wird zugeklemmt und das Thier sofort getödtet. 5h Nachm. (6 Stunden seitdem die postmortale Verdauung im Gang ist): Obduction. Rectaltemperatur 24° C. Gewichtsverlust der Eiweisskuben 102, 119, 116, 103, 99, 97, 106, 124 mg. Mittlerer Verlust 108,3 = 43,3 %, pro Stunde 7,2 %; im Vergleich zum vorigen Versuch wurde die Reduction der Eiweisskuben während desselben Zeitraums postmortaler Verdauung um 6,3 % grösser.

11. Versuch.

Hund *γ*. Gewicht ca. 6 1/2 kg. 22. Januar 1901. Aeussere Temperatur 10—12° C.

9h 30′ wird das Thier mit etwas gesottenem Fleisch gefüttert. Um 11h, 1 1/2 Stunde nach der Mahlzeit, werden auf die übliche Weise 8 Kuben geronnenes Eiweiss in den Zwölffingerdarm des Thieres eingeschoben und dasselbe hierauf sofort vermittelst Bulbärstiches getödtet. Die Section erfolgt 6 Stunden nach dem Tode, Nachm. 5h. Rectaltemperatur 27° C. Die Volumenreduction der Kuben ist erheblich. Die Gewichtsabnahme beträgt bei den einzelnen Würfeln: 119, 123, 137, 130, 129, 118, 124, 144 mg; mittlerer Verlust 128 = 51 %, pro Stunde 8,5 %; im Vergleich zum vorigen Versuch war die Gewichtsabnahme der Kuben während desselben Zeitraums postmortaler Verdauung (6 Stunden) um 7,8 % grösser.

12. Versuch.

Hund δ. Gewicht 4 kg. 17. December 1900. Aeussere Temperatur 13—17° C.

8h 30′ Morgens erhält der Hund etwas gesottenes Fleisch. 2 Stunden nach der Verabreichung desselben, um 10h 30′, werden durch den Magen 8 Kuben geronnenes Eiweiss von je 250 mg in das Duodenum eingeführt. Die Bauchhöhle wird mit 2 Klemmen verschlossen und das Thier vermittelst Bulbärstiches sofort getödtet. 4h 30′ Nachm. (6 Stunden post mortem): Obduction. Rectaltemperatur 25° C. Die erheblich zusammengeschrumpften Kuben erscheinen tief gelb verfärbt. Die Gewichtsabnahme beträgt bei den einzelnen: 153, 166, 147, 147, 134, 158, 160, 145, 137 mg; mittlerer Verlust demnach 150 mg = 60%, pro Stunde 10%. Im Vergleich zum vorigen Versuch ist der Gewichtsverlust der Kuben während desselben Zeitraums postmortaler Verdauung um 8,9% grösser.

13. Versuch.

Hund ε. Geschlecht weiblich. Gewicht ungefähr 5½ kg. 15. Februar 1901. Aeussere Temperatur 11—14° C.

7h 30′ Morgens: Fütterung mit etwas gesottenem Fleisch. 2½ Stunden darauf (10h) Laparotomie und Einführung in das Duodenum von 8 Eiweisskuben. Auch im übrigen verfährt man wie oben, und das Thier wird sofort getödtet. 4h Nachm.: Nach 6 Stunden postmortaler Verdauung erfolgt die Section. Rectaltemperatur 24,6° C. Das ursprüngliche Gewicht von 250 mg ist bei den einzelnen Kuben um 179, 195, 182, 186, 169, 180, 173, 170 mg reducirt. Mittlerer Verlust 178 mg = 71,2%, pro Stunde 11,8%. Die Verdauung des geronnenen Eiweisses ist um 11,2% stärker als bei dem Hunde im vorigen Versuch.

14. Versuch.

Hund ζ. Ca. 6 kg schwer. 17. Februar 1901. Aeussere Temperatur 12—14° C.

7h 30′ Morgens wird dem Thier etwas gesottenes Fleisch dargereicht. 3 Stunden darauf, um 10h 30′ wird das Thier vermittelst Bulbärstiches getödtet, nachdem ihm zuvor, in der üblichen Weise, 8 Kuben geronnenes Eiweiss (250 mg) in das Duodenum eingeführt worden sind und die Bauchhöhle zugeklemmt wurde. 6 Stunden nach dem Tode, 4h 30′ Nachm., nachdem die Temperatur im Rectum bereits auf 23,5° gesunken ist, findet die Section statt. Das Volumen der Kuben, die im Uebrigen das gleiche Aussehen wie im vorigen Versuche zeigen, ist ausserordentlich reducirt. Gewichtsverlust der einzelnen Kuben: 187, 183, 161, 177, 178, 187, 186, 181 mg; mittlerer Verlust 180 mg = 72%, pro Stunde 12%. Im Vergleich zum Hunde δ ist der Gewichtsverlust der Kuben um 0,8% grösser.

15. Versuch.

Hund η. Ca. 5 kg schwer. 19. Februar 1901. Aeussere Temperatur 13—15° C. Um 7h frisst das Thier etwas gesottenes Fleisch. Um 10h 30′, 3½ Stunden nach dessen Verabreichung: Laparotomie und Einführung der Kuben in das Duodenum durch den Magen wie gewöhnlich. 4h 30′ Nachm.: 6 Stunden post mortem: Obduction. Rectaltemperatur 25° C. Kuben, im Aussehen: wie oben. Gewichtsverlust (ab 250 mg) der einzelnen Kuben: 172, 178, 169, 183, 180, 167,

170, 165 mg; mittlerer Verlust 173 mg = 69,2 %, pro Stunde 11,5 %; während desselben Zeitraums postmortaler Verdauung war der Gewichtsverlust des geronnenen Eiweisses diesmal im Vergleich zum vorigen Experiment um 2,8 % grösser.

16. Versuch.

Hund ϑ. Gewicht ca. 5½ kg. 22. Februar 1901. Aeussere Temperatur 10—12° C.

Um 7h 30′ Morgens bekommt der Hund etwas gesottenes Fleisch zu fressen. 4 Stunden nach der Fütterung werden 8 Kuben Eiweiss in der üblichen Weise in das Duodenum eingeführt. Unmittelbar darauf wird das Thier durch Bulbärstiche getödtet. 6 Stunden nach dem Tode (5h 30′ Nachm.) erfolgt die Section. Starke Volumenreduction und Färbung der Kuben. Die Gewichtsabnahme bei denselben betragen: 170, 191, 171, 175, 177, 184, 188, 176 mg; mittlere Abnahme 178 = 71,2 %, pro Stunde 11,8 %. Im Vergleich zum vorigen Versuch ist der Gewichtsverlust der Kuben während derselben Verdauungsperiode post mortem um 2 % grösser.

17. Versuch.

Hund ι. Geschlecht weiblich. Gewicht ungefähr 6 kg. 25. Februar 1901. Aeussere Temperatur 10—13° C.

7h Morgens lasse ich dem Thier etwas gesottenes Fleisch verabreichen. Die Einführung von 8 Kuben geronnenes Eiweiss in das Duodenum durch den Magen erfolgt auf übliche Weise 5 Stunden nach der Mahlzeit. Unmittelbar darauf wird das Thier vermittelst des Bulbärstiches getödtet. 6 Stunden post mortem (6h Abends): Obduction. Rectaltemperatur 23,1° C. Die Kuben sind immer noch durch Galle verfärbt, ihr Volumen jedoch erscheint in geringerem Maasse reducirt als im vorigen Versuch. Der Gewichtsverlust beträgt bei den einzelnen Kuben: 157, 167, 152, 148, 144, 160, 147, 151 mg; mittlerer Verlust 152 mg = 60,8 %, pro Stunde 10,1 %. Der mittlere Gewichtsverlust des geronnenen Eiweisses war also im Vergleich zum vorigen Versuch um 10,4 % geringer.

18. Versuch.

Hund ϰ. Ca. 5 kg schwer. 5. März 1901. Aeussere Temperatur 13—15° C.

Um 7h Morgens frisst das Thier etwas gesottenes Fleisch. Nachm. 1h wird es getödtet, unmittelbar nachdem auf die übliche Weise die Einführung von 8 Kuben geronnenen Eiweisses in den Zwölffingerdarm erfolgt ist.

Abends 7h (sechs Stunden post mortem): Section. Rectaltemperatur 23,9° C. Volumenreduction der Kuben noch geringer, Färbung heller. Gewichtsverlust bei den einzelnen Kuben: 138, 131, 125, 136, 121, 116, 121, 130 mg; mittlerer Gewichtsverlust 127,5 = 51 %, pro Stunde 8,5 %. Die Verdauung der Kuben ist demnach um 9,8 % geringer als im vorigen Versuch.

19. Versuch.

Hund λ. Gewicht ca. 4½ kg. 27. März 1901. Aeussere Temperatur 12—15° C.

9h Morgens frisst der Hund etwas gesottenes Fleisch. 4h Nachm. (7 Stunden nach der Mahlzeit) erfolgt die Laparotomie und Einführung in das Duodenum

der 8 Eiweisskuben. Hierauf wird das Thier sofort vermittelst Bulbärstiches getödtet. 10 h Abends (nach 6 Stunden postmortaler Verdauung): Obduction. Rectaltemperatur 26° C. Die Volumenreduction der Kuben ist eine erheblich geringere als bei den vorigen Experimenten. Die Gewichtsabnahme der einzelnen Kuben beträgt bloss 108, 101, 112, 99, 104, 106, 93, 117 mg; mittlere Abnahme 105 mg = 42 %, pro Stunde 7 %. Im Vergleich zum vorigen Versuch ist die Gewichtsabnahme der Eiweisswürfel während desselben Zeitraums postmortaler Verdauung um 9 % geringer.

20. Versuch.

Hund μ. Gewicht ca. 5 kg. 29. März 1901. Aeussere Temperatur 13—15° C.

8 h Morgens bekommt das Thier etwas gesottenes Fleisch. 8 Stunden darauf (um 4 h Nachm.) werden auf dem üblichen Wege 8 Eiweisskuben (250 mg) in den Zwölffingerdarm eingeführt und der Hund unmittelbar darauf getödtet. 10 h Abends (6 Stunden nach dem Tode) erfolgt die Section. Die Temperatur im Rectum beträgt 25,2° C. Die Kuben erscheinen nur in geringem Maasse reducirt, auch ist die Färbung eine hellere als bei den vorigen Versuchen. Der Gewichtsverlust der einzelnen Kuben beträgt: 78, 81, 89, 77, 85, 82, 79, 95 mg; mittlerer Verlust 83,3 = 33,3 %, pro Stunde 5,6 %. Im Vergleich zum vorigen Versuch ist die mittlere Abnahme der Kuben in Folge der Eiweissverdauung um 8,7 % geringer.

Auf diese 12 Versuche liess ich einen dreizehnten folgen, bei welchem der Hund kein Fleisch zu fressen bekommen hatte, vielmehr seit 24 Stunden nüchtern war.

Dieser Versuch schien mir besonderes Interesse zu gewähren; es ist bekannt, dass die Meinungen der verschiedenen Forscher (Corvisart, Schiff, Herzen, Carvallo et Pachon, Dastre) betreffs des Inhaltes des Pankreas der nüchternen Thiere, an Fermenten und der proteolitischen Wirkung des unter diesen Bedingungen abgesonderten Pankreassaftes, nicht übereinstimmen; was letztere betrifft, wird sie von dem Einen entschlossen in Abrede gestellt, während Andere wieder nachgewiesen haben, dass der in Folge Erregung des Vagums abgesonderte Saft der Pankreasfistel auch bei nüchternen Thieren eine proteolitische Wirkung zu entfalten im Stande ist (Wett), und Pachon et Gachet das in das Duodenum lebender, nüchterner Thiere eingeführte Eiweiss nach 5—6 Stunden vollkommen zersetzt fanden. Der Versuchsverlauf war folgender:

Hund α'. Geschlecht weiblich. Gewicht 5½ kg. 15. Mai 1901. Aeussere Temperatur 16—18° C.

10 h Morgens. Der Hund hat in den letzten 24 Stunden nichts zu fressen bekommen. Laparotomie und Einführung von 8 Kuben Eiweiss in das Duodenum durch die untere Magenöffnung. Nachdem die Bauchhöhle zugeklemmt, wird das Thier vermittelst Bulbärstiches getödtet. 4 h Nachm.: Obduction. Temperatur im Rectum 24,7° C. Gewichtsverlust der Kuben 51, 53, 85, 62, 58, 79, 64, 60; mittlerer Verlust 64 = 25,6 %, pro Stunde 4,3 %.

Tabelle III.

Hund	Gewicht kg	Temperatur ° C.	Zeit, welche zwischen Fleischmahlzeit und Tödtung verflossen ist	Verbleib der Kuben im Zwölffingerdarm Stunden	Rectaltemperatur zur Zeit der Obduction ° C.	Totale mittlere Gewichtsabnahme per 250 mg		Unterschiede der Gewichtsabnahme zwischen der einen und der anderen Untersuchung in %	Mittlere Gewichtsabnahme pro Stunde %
						mg	%		
α'	5½	16—18	—	6	24,7	64	25,6		4,2
α	5	10—13	½	6	24,3	92,5	37,0		6,3
β	5½	11—13	1	6	24	108,3	43,3	6,3 +	7,2
γ	6½	10—12	1½	6	27	128	51,1	7,8 +	8,5
δ	4	13—17	2	6	25	150	60,0	8,9 +	10
ε	5½	11—14	2½	6	24,6	178	71,2	11,2 +	11,8
ζ	6	12—14	3	6	23,5	180	72,0	0,8 +	12
η	5	13—15	3½	6	25	173	69,2	2,8 —	11,5
ϑ	5½	10—12	4	6	24,3	178	71,2	2,0 +	11,8
ι	6	10—13	5	6	23,1	152	60,8	10,4 —	10,1
$\varkappa$	5	13—15	6	6	23,9	127,5	51,0	9,8 —	8,5
λ	4½	12—15	7	6	26	105	42,0	9,0 —	7
μ	5	13—15	8	6	25,2	83,3	33,3	8,7 —	5,6

Unerwarteter Weise lautet das Ergebniss auf einen Verbrauch von Eiweiss, aber in beschränkterem Maasse als bei verdauenden Thieren. Die Bildung eines Duodenalsaftes mit proteolitischer Wirkung kann verschiedenartig gedeutet werden; da die Annahme eines Fortdauerns der Pankreasfunction als unberechtigt erscheinen kann, sind wir auf die verschiedenen Momente angewiesen, die auf das Thier vor und während des Todes einwirken können, so z. B. die unvermeidliche psychische Erregung, wenn das nüchterne Thier von demselben Manne aus dem Stall fortgeschleppt wird, der ihm gewöhnlich das Futter darreicht, oder den unmittelbaren mechanischen Reiz durch die Einführung der Kuben (was jedoch nach den Untersuchungen von Paulow's Schülern unwahrscheinlich erscheint) oder endlich die Erregung des Bulbus bei der Tödtung (wie bekannt, fanden Heidenhain und Landau, dass eine elektrische Erregung des Bulbus auf die Absonderung des Pankreassaftes befördernd wirkt).

Die Ergebnisse der ganzen Versuchsreihe sind in der Tabelle (S. 540) zusammengestellt. In der vierten Spalte ist die jedesmalige Dauer der vitalen Verdauung angegeben, worauf das Thier getödtet und die Eiweisskuben in das Duodenum eingeführt wurden, in der fünften die Dauer der postmortalen Verdauung, die in allen Fällen von 6 Stunden war. In der vorletzten Spalte ist der positive oder negative Unterschied des Eiweissverbrauches (in Procenten) zwischen dem betreffenden Versuche und dem unmittelbar vorangehenden angegeben.

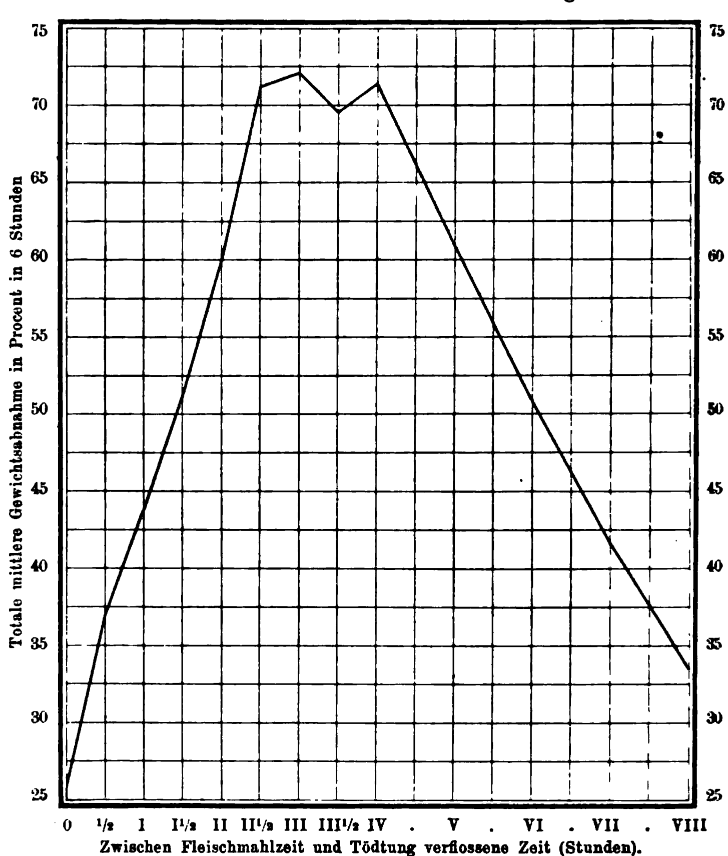
Wie daraus ersichtlich, entfaltet somit der Duodenuminhalt das Maximum seiner verdauenden Thätigkeit bei solchen Thieren, die $2^1/_2$ bis 4 Stunden nach der Fleischverfütterung getödtet werden. Zu dieser Zeit beträgt die Verdauung selbst 72 % der gesammten Eiweissmenge.

Der Verlauf der proteolitischen Wirkung des Duodenuminhalts im Laufe der Verdauung ist klar ersichtlich aus folgender Curve, die unter Zugrundelegung der in voriger Tafel enthaltenen Angaben gezeichnet wurde. Anfangs steigt dieselbe steil an, so dass ihr ansteigender Schenkel von einer geraden, beinahe verticalen Linie dargestellt wird. Ihren Höhepunkt erreicht sie nach etwa $2^1/_2$ Stunden und verbleibt während ca. $1^1/_2$ Stunden auf demselben, um dann wiederum rasch, jedoch nicht so schroff wie im ansteigenden Schenkel, abzufallen. Die Schwankungen, die man am Höhepunkt der Curve beobachtet, sind sicherlich durch eines der mannigfachen Momente

bedingt, die den Versuchsverlauf beeinflussen konnten, trotzdem möglichst dafür Sorge getragen wurde, die grösste Beständigkeit der Versuchsbedingungen zu erzielen.

Es dürfte sich lohnen, diese Ergebnisse mit den gleich bezüglichen Paulow's und seiner Schüler zu vergleichen. Fassen wir

Fig. 3. Variation der proteolitischen Wirkung des Duodenalsaftes in verschiedenen Perioden der Verdauung.



zuerst die Bedingungen in's Auge, unter welchen sich diese grundlegenden und geistvollen Versuche vollzogen, es wurde der Saft von Thieren untersucht, die Träger einer dauernden, nach Paulow's Methode erzeugten Pankreasfistel waren. Unter solchen Umständen können die Thiere gewiss nicht als normal angesehen werden, da die Pankreasfunction seit etlichen Tagen fehlte; zudem verlief auch die Verdauung während der Versuche nicht wie im normalen Thiere,

weil sich der Pankreassaft nicht in das Duodenum ergoss und die Beschaffenheit und Reaction des Duodenuminhalts somit eine von der normalen verschiedene war und in Folge dessen auch der von demselben ausgeübte, die Pankreasthätigkeit befördernde Reiz ausblieb.

Auch nach dem Verfahren von Foderà wären diese Missstände nicht gehoben worden. Nach dieser Methode ergiesst sich der Pankreassaft durch ein T-förmiges Rohr für gewöhnlich in das Duodenum, kann aber beliebig auch nach aussen geführt werden; es fällt dadurch leicht, sich einen klaren Begriff von den qualitativen Veränderungen desselben zu machen, die quantitativen jedoch entziehen sich einer klaren Würdigung, da die Menge des nach aussen fliessenden Secrets in keinerlei bestimmbarer Beziehung zu derjenigen steht, die sich weiter in das Duodenum ergiesst, zudem wird bei solchen Versuchen ein nicht unwesentlicher Theil des Pankreassaftes der Verdauungsfunction entzogen. Nach unserer Methode functionirt der Darm selbst als Behälter und Wärmekammer bei der Reaction, und es wird dadurch ermöglicht, die Wirkung der proteolitischen Fermente direct in demselben und somit in den denkbar normalsten Verhältnissen zu untersuchen. Freilich hat man es dabei nicht mit der Wirkung des Pankreassaftes allein zu thun, sondern mit derjenigen des gesammten Darminhalts, doch hängt offenbar die Verdauung des geronnenen Eiweisses ausschliesslich von der Wirkung der proteolitischen Fermente ab. Da den von mir erhaltenen Zahlen offenbar kein absoluter, sondern bloss ein relativer Werth beizumessen ist, und in allen Versuchen die Kuben gleich lang im Darme verblieben, wird ihre Vergleichbarkeit keineswegs dadurch beeinträchtigt, dass während der sechs Stunden der postmortalen Verdauung die sich anhäufenden Verdauungsproducte des Eiweisses nothwendig einen hemmenden Einfluss auf die weitere Verdauung des Eiweisses selbst ausüben mussten.

Aus den von Walther zusammengestellten Tabellen lässt sich deutlich ersehen, dass die Intensität der proteolitischen Wirkung des von einer Fistel herrührenden Pankreassaftes anfangs (von der ersten bis zur dritten Stunde nach der Verabreichung des Fleisches) geringer wird und hierauf zunimmt. Dagegen nimmt die Menge des abgesonderten Pankreassaftes während der ersten Stunde rasch zu, erreicht nach zwei Stunden ihr Maximum und fällt dann wieder schnell ab, so dass nach fünf Stunden bereits kein Saft mehr fliesst.

Letztere Thatsache lässt sich leicht mit den Ergebnissen meiner Versuche in Einklang bringen. Nach zwei Stunden erreicht der Darm seinen maximalen Inhalt an Pankreassaft, und es ist leicht begreiflich, dass sich der schwächende Einfluss der verminderten Saftabsonderung erst lange Zeit, nachdem diese Verminderung wirklich eingetreten ist, geltend machen muss. Daher ist es auch natürlich, dass meine Curve im Grossen und Ganzen derjenigen der secretorischen Thätigkeit ähnlich verlaufe, ihren Höhepunkt jedoch erst später erreiche, sich aber auf demselben entsprechend länger behaupte.

Um hiergegen meine Ergebnisse mit Walther's Bestimmungen der proteolitischen Wirkung des Saftes der Pankreasfistel in Einklang zu bringen, muss man annehmen, dass unter unseren Versuchsbedingungen die Eiweissverdauung eher als von der Concentration der Fermente im Duodenuminhalte von der absoluten Menge derselben darin abhänge, und diese Annahme erscheint um so mehr berechtigt, wenn man den abschwächenden Einfluss der Verdauungsproducte auf die Wirksamkeit des Enzyms berücksichtigt; dass der Gesammtinhalt an Fermenten nicht mit der Concentration des Pankreassaftes Schritt hält, ist um so leichter verständlich, als die Zunahme der Secretmenge unverhältnissmässig grösser ist als die gleichzeitige Abnahme ihres proteolitischen Vermögens, so dass zur Zeit der lebhaftesten secretorischen Thätigkeit und nachher die Verdünnung des Duodenalinhalts wohl eine grössere, dafür aber sein absoluter Reichthum an Ferment ein viel beträchtlicherer ist.

Aus meinen Versuchen ergibt sich somit ein synthetischeres und getreueres Bild der Verdauungsvorgänge im Duodenum, als wenn sich unser Studium bloss auf den aus einer Magenfistel erhaltenen Pankreassaft beschränkt hätte, doch dürfen wir letzterer Methode ihre bedeutenden Vortheile nach einer anderen Seite hin nicht absprechen.

Meine Ergebnisse könnte man somit dahin zusammenfassen:

Führt man in das Duodenum eines Hundes, bei dem der Verdauungsprocess in vollem Gange ist, eine gewisse Menge geronnenes Eiweiss ein, indem man das Thier gleichzeitig tödtet, so wird dieses Eiweiss in hohem Maasse verdaut. In den verschiedenen Zeiträumen nach dem Tode ist diese Verdauung nicht etwa eine gleichmässige, vielmehr fällt die höchste Intensität derselben in die ersten Stunden post mortem, um dann rasch abzunehmen und nach ungefähr

neun Stunden gänzlich zu schwinden. Diese Abnahme ist nicht bloss abhängig von der Erkaltung der Leiche, sondern auch von anderen, noch nicht genauer ermittelten Momenten.

Die äussere Temperatur übt auf die Intensität dieser postmortalen Verdauung im Duodenum bloss einen beschränkten Einfluss aus.

Je nachdem zur Zeit der Einführung des Eiweisses in den Darm die Verdauung der vorangegangenen Fleischmahlzeit mehr oder weniger vorgeschritten ist, schwankt die Intensität der Verdauungsprocesse im Duodenum der Thierleiche bei gleicher äusserer Temperatur und gleich langem Verbleiben des Eiweisses im Darme innerhalb ziemlich weiter Grenzen; sie steigt rasch bis auf ein Maximum, das erreicht wird, wenn der Tod in einem Abstande von ca. 2½ Stunden auf die Mahlzeit folgt. Sind zwischen Mahlzeit und Tod mehr als vier Stunden verflossen, bemerkt man eine allmähliche Abschwächung der Verdauungsprocesse.

Die jeweilige proteolitische Wirkung des Duodenuminhalts während der Verdauung hängt nicht von der Concentration der Fermente in demselben, wie sie aus dem Verlaufe dieser Wirkung im Safte der Pankreasfistel erhellt, ab, sondern vielmehr von der absoluten Menge activer Fermente, die zur Zeit im Darme vorhanden ist.

Auch der Duodenuminhalt eines nüchtern getödteten Thieres vermag auf das gleich beim Tode eingeführte geronnene Eiweiss eine verdauende Wirkung auszuüben.

Literatur.

Carvallo et Pachon, Expériences sur le pouvoir digestif du pancréas dans l'état de jeune chez les animaux normaux et dératés. Arch. de Physiol. t. 5. 1893.

L. Corvisart, Influence de la digestion gastrique sur l'activité fonctionelle du pancréas. Union médicale 1861.

A. Dastre, Contribution a l'étude des ferments du pancréas. Arch. de Physiol. t. 5. 1893.

C. Ferrai, Ueber postmortale Verdauung. Vierteljahrsschrift f. gerichtl. Medicin u. öff. Sanitätsw. 3. Folge Bd. 21 S. 2.

Foderà, Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre der Menschen und der Thiere Bd. 16. 1896.

Landau, Zur Physiologie der Bauchspeichel-Absonderung. Breslau 1873.

A. Herzen, Ueber den Einfluss der Milz auf die Bildung des Trypsins. Pflüger's Archiv Bd. 30. 1883.

J. Jablonski, Comment se comporte la glande pancréatique sous l'influence du régime pano-lacté. Arch. des Sciences biologiques de St. Pétersbourg t. 4. 1895.

S. Mett, Zur Innervation der Bauchspeicheldrüse. Arch. f. Anatomie u. Physiologie 1894.

V. Pachon et J. Gachet, Du pouvoir digestif du duodenum vis-à-vis de l'ovo-albumine. Compt. rend. de la Soc. de Biologie Sér. 10 t. 4. 1897.

J. P. Paulow, Die Arbeit der Verdauungsdrüsen. Bergmann, Wiesbaden 1898.

J. P. Paulow, Die Methode der Anlegung einer Pankreasfistel. Verhandlungen der St. Petersburger Naturforschergesellschaft Bd. 11. 1879. Hofmann-Schwalbe, Jahresbericht f. 1880.

M. Schiff, Pankreasverdauung. Pflüger's Archiv 1870.

A. Ssamoilow, Determination du pouvoir fermentatif des liquides contenants de la pepsine par le procédé de M. Mett. Arch. d. Scienc. biologiques de St. Pétersbourg t. 2. 1893.

A. Walther, Excitabilité secretoire spécifique de la mucquese du tube digestif. 5me mémoire. Sécretion pancréatique. Arch. d. Scienc. biologiques de St. Pétersbourg t. 7. 1898.

W. Wassiliew, De l'influence des diverses espèces d'aliments sur le fonctionnement de la glande pancréatique. Arch. des Sciences biologiques de St. Pétersbourg t. 2. 1893.

(Aus dem physiologischen Laboratorium der Universität Leyden.)

Weitere Untersuchungen über Nervenreizung durch frequente Wechselströme.

II. Mittheilung.

Ueber den Einfluss der Dämpfung auf die erregende Wirkung einer sinusoïdal oscillirenden Elektricitätsbewegung.

Von

W. Einthoven.

(Mit 5 Textfiguren.)

Inhalt.

		Seite
I.	Einleitung	547
II.	Die allgemeine Anordnung der Versuche und die verschiedenen Solenoide	552
III.	Die Messung der Oscillationsfrequenz	554
IV.	Die Messung der Dämpfung	559
V.	Versuche mit dem Nervmuskel-Präparat	565
VI.	Uebersicht der erhaltenen Ergebnisse. Die Theorien der Nervenerregung von Hoorweg und Hermann	572
VII.	Schlussfolgerungen	583
VIII.	Anhang	583

I. Einleitung.

In einer vorigen Mittheilung[1]) wurde zum ersten Male mit Sicherheit gezeigt, dass ein Wechselstrom von ungefähr einer Million Perioden per Secunde im Stande ist, einen Nerven zu erregen, während zu gleicher Zeit über die erregende Wirkung anderer, nicht so frequenter Wechselströme berichtet wurde. Von jedem Wechsel-

1) Ueber Nervenreizung durch frequente Wechselströme. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 82 S. 101. 1900. Siehe auch „Onderzoekingen“. Physiol. Laborat. Leyden 2. Reihe, Bd. 4.

strom wurde sowohl die Schwingungsfrequenz wie der Grenzwerth der Stromstärke, die zum Hervortreten einer Reaction des Nervmuskel-Präparates benöthigt war, genau gemessen.

Unter den zahlreichen Fragen, die während der Untersuchung auftauchten, gab es eine von besonderem theoretischem Interesse: Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem obengenannten Grenzwerth und der Oscillationsfrequenz des Wechselstromes? Die Frage wurde dahin beantwortet, dass für Wechselströme von 65 000 bis zu einer Million Perioden per Secunde der Grenzwerth der benöthigten Stromstärke schneller steigt als die Oscillationsfrequenz. Die Beziehung zwischen den beiden veränderlichen Werthen ist nicht sehr einfach und nicht constant und bietet für jede bis jetzt entwickelte Theorie der Nervenerregung grosse Schwierigkeiten dar.

Als wir die Richtigkeit der bekannten Theorien an den neuen Erscheinungen prüften, sagten wir von Hoorweg's Theorie, dass diese sich noch nicht auf Wechselströme erstreckte. Seitdem hat Hoorweg in einer Anzahl von Abhandlungen[1]) die Frage weiter zu lösen versucht. Wir kommen im Abschnitt VI dieses Aufsatzes, wo auch die Hermann'sche Theorie Berücksichtigung finden wird, auf die Theorie Hoorweg's zurück, während hier die Erwähnung genügen möge, dass Hoorweg die von uns gefundenen Erscheinungen nur dann seinem Systeme anpassen kann, wenn die Dämpfung der von uns angewendeten Wechselströme einen bedeutenden Einfluss auf ihre erregende Wirkung ausübt. Hoorweg glaubt darum auch diesen Einfluss ziemlich hoch anschlagen zu müssen.

Seine Bemerkungen haben mich veranlasst, die Dämpfungsfrage einer ausführlichen Untersuchung zu unterwerfen, wozu ich mich desto eher entschlossen, weil ich erfahren habe, dass man sich leicht eine falsche Vorstellung von dieser Sache bilden kann. Ich schrieb in Hinsicht auf die Erwärmung eines durchströmten Nerven, dass bei unseren Versuchen die Intensität des Wechselstromes von $8{,}8 \times 10^5$ Perioden per Secunde schon nach 0,001 und sogar schon nach 0,0001 Sec. bedeutend geschwächt sein müsse. Mit anderen

1) J. L. Hoorweg, Ueber die Erregung der Nerven. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 82 S. 399. 1900. — Id., Ueber Nervenerregung durch frequente Wechselströme. Ibid. Bd. 83 S. 89. 1901. — Id., Ueber die Erregung der Nerven. Ibid. Bd. 85 S. 106. 1901. — Id., Ueber die Erregung der Nerven. Ibid. Bd. 87 S. 94. 1901.

Worten darf man sagen, dass in Bezug auf die Anzahl der per Secunde entwickelten Calorien, die angewendeten elektrischen Schwingungen „stark gedämpft" waren. „Stark" hat jedoch selbstverständlich nur relativen Werth und das Wort wäre in Bezug auf die Grösse unserer Beobachtungsfehler übel angebracht, wenn man es auf die Abweichung, die die elektrischen Wellenbewegungen der idealen Sinuscurven zeigten, anwendete.

Die Sache kann leicht deutlich gemacht werden. Das Dämpfungsverhältniss einer oscillirenden Condensatorentladung kann aus der Schwingungsfrequenz, dem Widerstand und der Selbstinduction des Systemes berechnet werden unter der Annahme, dass der Raum zwischen den Kugeln des Funkenmikrometers während des Ueberschlagens eines Funkens einen Widerstand = 0 besitzt. Wie wir

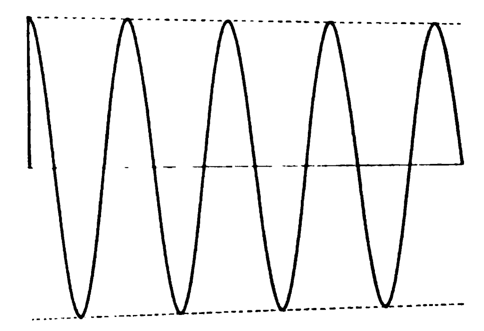


Fig. 1. Wellenlinie mit dem logarithmischen Decremente $\delta = 0{,}0256$ und dem Dämpfungsverhältniss $D = 1{,}026$.

später sehen werden, ist diese Annahme bei einer genauen Berechnung unzulässig. Sie sei hier also nur ganz vorläufig gemacht.

Unter dieser Bedingung wird das logarithmische Decrement des von uns angewendeten Wechselstromes von $8{,}8 \times 10^5$ Perioden per Secunde berechnet[1]) als $\delta = 0{,}0256$ und das Dämpfungsverhältniss als $D = 1{,}026$. Die Amplitudo jeder willkürlichen Welle ist also 1,026 Mal grösser als diejenige der unmittelbar folgenden. In Fig. 1 findet man eine Abbildung der berechneten Wellenlinie.

In den folgenden Zeilen werden wir beweisen, dass aller Wahrscheinlichkeit nach das erste Viertel der ersten Periode hauptsächlich die Erregungsgrösse des Wechselstromes bestimmt. Das zweite Viertel

---

1) Ueber die Einzelheiten dieser und der folgenden Berechnungen siehe den Anhang.

derselben Periode hat eine Amplitudo, die nur 0,6 % kleiner ist, ein Betrag, der bei unseren Versuchen ohne Bedenken vernachlässigt werden darf.

Dass dagegen diese geringe Dämpfung eine grosse Bedeutung erlangt, sobald man die durch den Strom entwickelte Wärme kennen zu lernen wünscht, tritt unmittelbar hervor, wenn man nur berechnet, wie sehr die Amplitudo der Wellen nach einer gegebenen Zeit abgenommen hat. Nach 0,0001 Sec. ist sie auf $\frac{1}{9,6}$, nach 0,001 Sec. schon auf $\frac{1}{6,5 \times 10^9}$ ihrer ursprünglichen Grösse zurückgebracht. Mit Rücksicht auf die Anzahl der erzeugten Calorien darf man unseren Wechselstrom also thatsächlich „stark gedämpft" nennen.

Für die Wechselströme von 200 000 Perioden per Secunde muss, unter derselben Bedingung für den Funkenwiderstand, das Dämpfungsverhältniss auf 1,0113 berechnet werden. Nach 0,001 Sec. ist die Wellenamplitudo auf $\frac{1}{9,4}$, nach 0,01 Sec. auf $\frac{1}{5,25 \times 10^9}$ ihrer ursprünglichen Grösse zurückgebracht.

Für unsere Wechselströme von 65 700 Perioden per Secunde muss — wieder unter der nachdrücklichen Bedingung, dass der Funkenwiderstand = 0 ist —, das Dämpfungsverhältniss als 1,0109 berechnet werden. Nach 0,001 Sec. ist die Amplitudo der Wellen auf $\frac{1}{2,04}$, nach 0,01 Sec. auf $\frac{1}{1230}$ ihrer ursprünglichen Grösse zurückgebracht.

Wir kommen jetzt zu der Frage, ob die Dämpfung der angewendeten Wechselströme einen Einfluss auf die erhaltenen Ergebnisse ausgeübt hat, insbesondere ob sie das Resultat beeinträchtigt, dass die für eine Muskelzuckung benöthigte Stromstärke schneller zunimmt als die Oscillationsfrequenz.

Die obengenannten Zahlen rufen schon die Vermuthung hervor, dass die Frage verneinend beantwortet werden muss. Zwar war die berechnete Dämpfung beim Gebrauche des Ringes mit $8,8 \times 10^5$ Perioden per Secunde grösser als beim Gebrauch der beiden Solenoide, aber die Dämpfung beim Gebrauch des Solenoids von 6 Windungen war gleich derjenigen, die durch das Solenoid von 30 Windungen erzeugt wurde.

Es muss jedoch zugegeben werden, dass man die Aufgabe damit nicht als völlig gelöst betrachten darf. Um zu einer endgültigen Entscheidung zu kommen, ist es erforderlich, eine neue Untersuchung anzustellen. Dabei müssen wir versuchen, eine solche Vorrichtung anzufertigen, dass mit Wechselströmen einer bestimmten Frequenz, deren Dämpfung man willkürlich zu variiren in der Lage ist, gearbeitet werden kann. Die Aufgabe wird durch Fig. 2 verdeutlicht.

In der linken Hälfte *A* der Figur sind sechs Perioden einer Wellenbewegung mit dem logarithmischen Decremente $\delta_A = 0{,}09$ abgebildet, in der rechten Hälfte *B* abermals sechs Perioden einer Wellenbewegung von genau derselben Oscillationsfrequenz, jedoch mit einem logarithmischen Decremente $\delta_B = 0{,}615$. Die Dämpfung

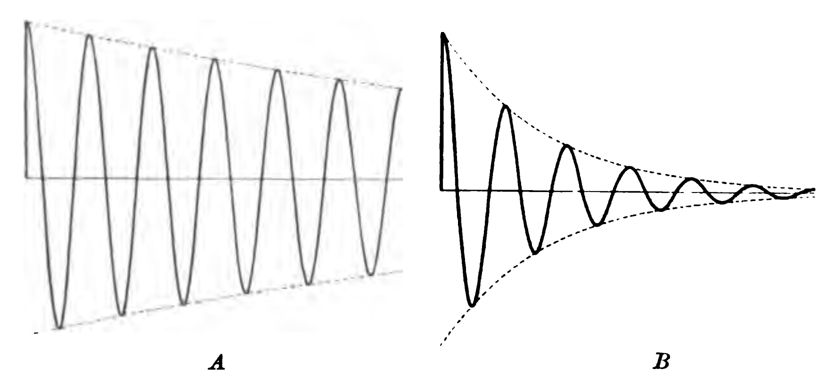


Fig. 2. Wellenlinien mit den logarithmischen Decrementen $\delta_A = 0{,}09$, $\delta_B = 0{,}615$, und den Dämpfungsverhältnissen $D_A = 1{,}094$, $D_B = 1{,}850$.

der letzten Wellenbewegung ist $\frac{\delta_B}{\delta_A} = 6{,}85$ Mal grösser als diejenige der ersten. Mit anderen Worten: es sind rund sieben Wellen des ersten Wechselstromes erforderlich, um die ursprüngliche Amplitudo im selben Verhältniss zu verringern, wie dies schon in einer einzigen Welle des zweiten Wechselstromes stattfindet.

Es muss jetzt unser Bestreben sein, zwei derartige, oder in Bezug auf ihre Dämpfung womöglich noch stärker von einander differirende Wechselströme nach einander auf dasselbe Nervmuskel-Präparat einwirken zu lassen und die minimale Stromstärke zu messen, die noch eben im Stande ist, eine Muskelzuckung zu erzielen. Uebt die Dämpfung des Wechselstromes einen Einfluss auf seine erregende Wirkung aus, so wird das beim Versuche deutlich hervortreten müssen.

II. Die allgemeine Anordnung der Versuche und die verschiedenen Solenoide.

Die allgemeine Anordnung der Versuche ist von den früher schon beschriebenen [1]) nicht verschieden. Nur wurde die Capacität der Batterien von Leydener Flaschen verringert. Während früher 2×4 Leydener Flaschen angewendet wurden, begnügen wir uns jetzt mit 2×3. Die Capacität jeder Batterie beträgt $13{,}1 \times 10^{-9}$ Farad; die der beiden Batterien zusammen $6{,}55 \times 10^{-9}$ Farad.

Die Leydener Flaschen werden mit dem kupfernen Solenoid von sechs Windungen, das als Vergleichsbasis für alle weiteren Messungen dient, verbunden. Der Kupferdraht ist 3 mm dick und der Durchmesser des Solenoids beträgt 102 cm. Wegen der Capacitätsverringerung der Batterien von Leydener Flaschen ist die Schwingungsfrequenz der Wechselströme von 2×10^5 bis auf $2{,}3 \times 10^5$ Perioden per Secunde erhöht worden, während in Folge derselben Ursachen die Dämpfung kleiner geworden sein muss. Diese letztere ist also noch geringer als die geringste Dämpfung, die bei den früher angewendeten Wechselströmen vorhanden war.

Weil man auf praktische Schwierigkeiten stossen würde, wenn man die Dämpfung noch weiter zu verringern versuchte, haben wir diejenige des oben beschriebenen Systems als Minimum angenommen und behufs der Vergleichung andere Systeme mit grösserer Dämpfung angefertigt. Zu diesem Zwecke wurden die Leydener Flaschen unverändert gelassen, während das kupferne Solenoid durch ein anderes ersetzt wurde, das zwar dieselben Dimensionen und die gleiche Anzahl von Windungen hatte, aber aus einem dünneren Drahte — der ausserdem einen grösseren specifischen Widerstand besass — zusammengestellt war.

Die verschiedenen angewendeten Solenoide können folgendermaassen numerirt werden:

I.	Kupferdraht	von	3	mm	Diameter,	6 Windungen,
II.	Nickelindraht	„	2,8	„	„	6 „
III.	„	„	0,8	„	„	6 „
IV.	Eisendraht	„	0,4	„	„	6 „
V.	Kupferdraht	„	3	„	„	mehr als 6 Windungen.

1) A. a. O.

Bei all' diesen Solenoiden ist der Widerstand und die Selbstinduction gleichmässig über den Solenoiddraht vertheilt. Wenn vom letzteren ein Strom nach dem Nervmuskel-Präparat abgeleitet wird, ist dieser immer so schwach, dass die durch die Ableitung bedingte Veränderung im Hauptstrome vernachlässigt werden darf. Die Stärke des abgeleiteten Stromes ist also unter diesen Bedingungen wie bei den vorherigen Versuchen proportional der Länge des Stückes des Solenoiddrahtes, von welchem der Strom abgeleitet wird.

Die Nummern I, II, III und IV bedürfen keiner näheren Erklärung. Die Dämpfung nimmt bei jeder folgenden Nummer zu und namentlich bei IV muss sie nicht nur wegen des bedeutenden Widerstandes des dünnen Drahtes, sondern auch wegen der grossen magnetischen Permeabilität des Eisens sehr gross sein.

Ueber den Gebrauch des V. Solenoids mögen noch ein paar Worte erwähnt werden. Weil die Dimensionen der übrigen Solenoide alle ungefähr gleich genommen waren, dürfte man erwarten, dass auch die Selbstinduction ungefähr gleich gross gewesen sei. Durch Vermehrung des Widerstandes musste jedoch die Schwingungsfrequenz abnehmen. So glaubten wir, dass besonders beim Gebrauch des eisernen Solenoids IV die Schwingungsfrequenz niedriger gewesen sei als beim Gebrauch des kupfernen Solenoids I. Wir wünschten aber die Oscillationsfrequenzen der zu untersuchenden Wechselströme so gut wie möglich einander gleich zu machen und meinten daher, das eiserne Solenoid von sechs Windungen besser mit einem kupfernen von sieben oder acht Windungen als mit Solenoid I vergleichen zu können. Später wird sich jedoch zeigen, dass diese Maassregeln überflüssig gewesen sind.

Erstens ist der Unterschied der Dämpfung beim Gebrauch der Solenoide I und IV bei Weitem nicht so gross, wie zuvor erwartet wurde, und zweitens ist die Selbstinduction von IV etwas kleiner. Der Draht des Solenoids I ist mit Hülfe von porzellanenen Isolationsklemmen um ein Gestell von acht hölzernen Stäben herum befestigt, welche die Kanten eines regelmässigen achteckigen Primas darstellen. Jede Windung des dicken, harten Kupferdrahtes ist nahezu wie ein Kreis um das Achteck gelegt. Der dünne, schlaffe Eisendraht ist dagegen von Stab zu Stab straff um ein zweites gleich grosses Prima gespannt. Die Windungen schliessen hier also eine Oberfläche ein, die sich zur Oberfläche des kupfernen Solenoids wie das regelmässige Achteck zum umschriebenen Kreis verhält. Wie

später noch näher gezeigt werden wird, hat dies zur Folge, dass die Schwingungsfrequenz der Wechselströme beim Gebrauch des Solenoids IV nahezu mit der des Solenoids I übereinstimmt.

III. Die Messung der Oscillationsfrequenz.

Die Hoffnung, die ich im Anfang hegte, die Schwingungsfrequenz der absichtlich gedämpften Wechselströme leicht zu messen, und zwar nach der früher von mir beschriebenen Methode mit dem Nervmuskel-Präparat, musste ich nach einer Anzahl vergeblicher Versuche fahren lassen. Dass die Methode der elektrischen Resonanz eigenthümliche Schwierigkeiten darbietet, wenn der Hauptstrom absichtlich gedämpft wird, kann leicht eingesehen werden. Aber auch die andere Methode, wobei ein inductionsloser Widerstand und eine genau messbare Capacität angewendet wird, und die in untenstehender

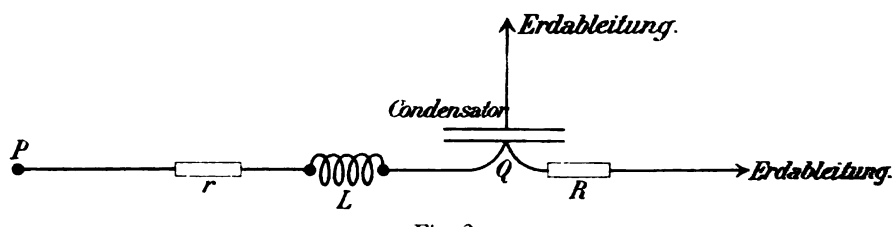


Fig. 3.

Fig. 3 abermals in Erinnerung gebracht werden möge, konnte unmöglich verwendet werden.

P ist ein Punkt des Solenoids, *r* ein inductionsloser Widerstand und *R* stellt den Nerven vor. Die Selbstinduction *L* ist = 0 gemacht. Die Ursache der Schwierigkeit liegt in der Form der Elektricitätsbewegung in *R*, die von der Wellenbewegung in *P* abweichen wird, sobald der Wechselstrom des Solenoids stark gedämpft ist. Unter diesen Umständen ist also die Messung der Schwingungsfrequenz mittelst des Nervmuskel-Präparates nicht mehr ausführbar.

Obengenannte Ergebnisse geben zu der Frage Anlass, ob die früheren Messungen, wobei mit einer möglichst geringen Dämpfung gearbeitet wurde, wohl zuverlässig sind. Dürfte der Einfluss der Dämpfung dabei wohl ganz vernachlässigt werden? Die Antwort kommt uns nicht zweifelhaft vor. Dass das Nervmuskel-Präparat ein vorzügliches Hülfsmittel für die Messung der Oscillationsfrequenz nicht absichtlich gedämpfter Wechselströme darbietet, darf als end-

gültig bewiesen betrachtet werden. Wir erinnern hier an die zahlreichen Messungsergebnisse, die sehr befriedigend zu einander stimmten, während doch bei den Versuchen mit verschiedenen Nervmuskel-Präparaten der Widerstand, die Capacität, die Selbstinduction und die Funkenlänge des Systemes wiederholt variirt wurden. Zum Ueberfluss zeigten sich die gefundenen Schwingungsfrequenzen in vollkommener Uebereinstimmung mit den mittelst der Funkenphotographie erhaltenen Resultaten.

Jetzt blieb uns jedoch nur die letztere, viel Aufwand von Zeit und Mühe erfordernde Messungsmethode übrig.

Der Apparat, den wir zu Feddersen's Funkenphotographie anwendeten, und der schon ausführlich von P. A. Moerman beschrieben worden ist[1]), wurde behufs der neuen Messungen in vielen Hinsichten verbessert. Die Verbesserungen hatten namentlich zum Zweck, die Schärfe und Lichtstärke der Bilder zu erhöhen. Der flache, drehende Spiegel und die vor demselben aufgestellte achromatische Linse wurden durch einen aus einer biconcaven Linse (— 1,75 *D*) angefertigten Hohlspiegel ersetzt. Nach den Angaben Feddersen's wurden erst eine Anzahl concaver Linsenflächen untersucht und schliesslich eine Linse gewählt, deren untersuchte Fläche ein sehr scharfes Reflexionsbild von in verschiedenen Richtungen verlaufenden geraden Linien lieferte.

Ein solches System von Linien kann leicht angefertigt werden, indem man zwei in Millimeter getheilte gläserne Netzscalen[2]) derartig auf einander legt, dass die Linien der einen Scala einen Winkel von 45° mit denjenigen der anderen bilden. Selbstverständlich werden die Glasplatten mit den getheilten Flächen gegen einander gelegt, so dass alle Striche sich in derselben Distanz der reflectirenden Hohlfläche befinden.

Es verdient Erwähnung, dass namentlich viele Linsen einer alten, nach Pariser Zollen numerirten Sammlung astigmatische Flächen zeigten: wenn die horizontalen Linien scharf abgebildet wurden, waren die verticalen undeutlich oder umgekehrt. Die neueren Linsen waren so gut wie alle viel besser.

---

1) Inaugural-Dissertation. Siehe auch „Onderzoekingen" Physiol. Laborat. Leyden, 2. Reihe, Bd. 5.

2) Ueber Netzscalen, siehe Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 56 S. 536. 1894, und auch „Onderzoekingen" Physiol. Laborat. Leyden, 2. Reihe, Bd. 1 S. 209.

Die gewählte Hohlfläche mit einem Radius = 59,5 cm wurde auf die übliche Weise versilbert und polirt und der auf diese Weise angefertigte Spiegel in den Rotationsapparat eingesetzt. Die Umdrehungsgeschwindigkeit wurde zwischen 62,5 und 66,7 Umdrehungen per Secunde variirt, während die Camera und das Funkenmikrometer derartig aufgestellt waren, dass das Reflexionsbild auf der photographischen Platte — die sich in einer Distanz von 37,55 cm vom Spiegel befand — nur 15 mm von der Spiegelachse entfernt war.

Das Funkenmikrometer stand 144 cm vor dem Spiegel, und wurde zwar ungefähr vier Mal verkleinert, aber tadellos scharf auf der empfindlichen Platte abgebildet. Wurde eine Millimeterscala an die Stelle des Funkenmikrometers gesetzt, so waren im vier Mal verkleinerten Reflexionsbilde die feinen Theilstriche, die hier nicht viel breiter als 0,01 mm sein konnten, sehr deutlich sichtbar. Trotz all' dieser Maassnahmen gelang es uns nicht, mittelst des drehenden Spiegels ein derartiges Bild des Funkens zu bekommen, dass die Stromoscillationen deutlich als gesonderte, leicht zählbare Abtheilungen hervortraten. Dagegen wurde unser Zweck vollkommen erreicht, als wir wieder wie früher an die Stelle des Funkenmikrometers eine enge Spalte setzten, deren Bild wie ein kleiner feiner Strich durch den Spiegel auf die empfindliche Platte reflectirt wurde. Das Funkenmikrometer selbst wurde in eine zweckentsprechende Distanz hinter die Spalte gesetzt, während eine biconvexe Linie von fünf Dioptrien hart an der Spalte ein scharfes Bild der Kugeln des Funkenmikrometers auf dem Spiegel erzeugte.

Die mittelst des drehenden Spiegels erhaltenen Photogramme liessen an Deutlichkeit nichts zu wünschen übrig. Jedes Photogramm zeigte eine Reihe von dunkeln contrastreichen Strichen, deren gegenseitige Distanz leicht gemessen werden konnte. Die Zahl der Striche war verschieden, je nachdem der Wechselstrom mehr oder weniger gedämpft war.

Beim Gebrauch von Solenoid I (Kupfer) konnten 14 Striche gezählt werden.

Beim Gebrauch von Solenoid II (dicker Nickelindraht) konnten 11 Striche gezählt werden.

Beim Gebrauch von Solenoid III (dünner Nickelindraht) konnten 5 Striche gezählt werden.

Beim Gebrauch von Solenoid IV (Eisen) konnten 2 Striche gezählt werden.

Auf allen Photogrammen war der erste Strich dunkler und breiter als die folgenden; auch war die Distanz von der Mitte des ersten Striches bis zur Mitte des zweiten grösser als die folgenden Strichdistanzen, weswegen für die Berechnung der Schwingungsfrequenz der erste Strich ausser Betracht blieb und die Distanzmessungen beim zweiten Strich anfingen. Für die Berechnung der mittelst des eisernen Solenoids erhaltenen Photogramme, die nur zwei Striche zeigten, wurden dadurch besondere, sofort näher zu beschreibende Maassregeln nöthig.

Erwähnen wir erst die weniger gedämpften Wechselströme und theilen wir die mit Solenoid I erhaltenen Ergebnisse etwas ausführlicher mit. Es wurden fünf bei Einschaltung dieses Solenoids verfertigte Photogramme gemessen.

Die Messung des Photogramms Nr. 10 ergab als Periodenzahl per Secunde . . . . $n = 2,28 \times 10^5$.

Die Photogramme Nr. 25 und 26 wurden unmittelbar nach einander angefertigt. Aus beiden wurde als Mittelwerth berechnet . $n = 2,32 \times 10^5$.

Aus den zu einander gehörigen Photogrammen Nr. 27 und 28 wurde als Mittelwerth berechnet . . . . $n = 2,28 \times 10^5$.

Im Mittel $n_I = 2,29 \times 10^5$.

Auf dieselbe Weise wurde bei Einschaltung der anderen Solenoide eine Anzahl von Photogrammen gemacht, die alle gemessen wurden. Die mittleren Ergebnisse findet man in der nachstehenden Tabelle I vereinigt:

Tabelle I.

Solenoid I (Kupfer 6 Windungen) $n_I = 2,29 \times 10^5$ Perioden per Secunde.

Solenoid II (dicker Nickelindraht) $n_{II} = 2,26 \times 10^5$ Perioden per Secunde.

Solenoid III (dünner Nickelindraht) $n_{III} = 2,35 \times 10^5$ Perioden per Secunde.

Solenoid V_7 (Kupfer 7 Windungen) $n_{V_7} = 2,035 \times 10^5$ Perioden per Secunde.

Solenoid V_8 (Kupfer 8 Windungen) $n_{V_8} = 1,863 \times 10^5$ Perioden per Secunde.

Man sieht, dass das kupferne Solenoid I und dasjenige von dickem Nickelindraht nahezu gleich grosse Schwingungsfrequenzen erzeugen. Auch dasjenige aus dünnem Nickelindraht ruft eine Schwingungsfrequenz hervor, die nur wenig von den übrigen abweicht. Dagegen werden die Frequenzen beim Gebrauch der Selenoide von 7 und 8 Windungen bedeutend geringer.

Von besonderem Interesse sind die Wechselströme, die mit dem eisernen Solenoid IV erhalten werden. Um aus der Distanz der zwei einzig vorhandenen Striche die Schwingungsfrequenz zu berechnen, verfuhren wir folgendermaassen.

Bei den fünf mittelst Solenoid I erhaltenen Photogrammen wurde die Distanz zwischen der Mitte der ersten und der Mitte des zweiten Striches gemessen. Diese Distanz beträgt durchschnittlich $\frac{3,780}{5}$ mm. Die gegenseitige Distanz der übrigen Striche beträgt durchschnittlich $\frac{3,334}{5}$ mm. Der Abstand vom ersten bis zum zweiten Strich ist im Durchschnitt $p_I = \frac{3,780}{3,334} = 1,134$ Mal grösser als derjenige, der uns zur Basis für die Berechnung der Schwingungsfrequenz gedient hat.

Vollkommen übereinstimmende Messungen wurden bei den Photogrammen gemacht, welche mittelst der Solenoide II, III, V_7 und V_8 erhalten waren. Für die Werthe von p wurde gefunden:

$$p_{V_8} = 1,106$$
$$p_{V_7} = 1,110$$
$$p_I = 1,134$$
$$p_{II} = 1,145$$
$$p_{III} = 1,180.$$

Die obenstehenden Werthe von p sind nach dem Betrage der Dämpfung der Wechselströme geordnet. Man sieht unmittelbar, dass die Ordnung vollkommen zu einer solchen stimmt, wobei der Betrag von p als Maassstab genommen wird. Und daraus muss hergeleitet werden, dass p im genauesten Zusammenhang mit der Dämpfung steht. Wir haben uns vorläufig keine Mühe gegeben, diesen Zusammenhang näher zu analysiren, sondern einfach p_{IV} für das eiserne Solenoid auf 1,2 geschätzt. Sobald dieser Betrag als bekannt angenommen werden darf, kann aus der Distanz von der Mitte des ersten bis zur Mitte des zweiten Striches des Photogrammes die Schwingungsfrequenz berechnet werden.

Es wurden fünf Photogramme gemessen. Mit Beachtung des Factors 1,2 wurde die Periodenzahl aus

Photogramm 1 und 2 durchschn. gefunden als		$2{,}22 \times 10^5$
„ 13 „ „ „		$2{,}24 \times 10^5$
„ 29 und 30 „ „ „		$2{,}27 \times 10^5$
	also im Mittel $n_{IV} =$	$2{,}24 \times 10^5$

Perioden per Secunde.

Die Werthe von n_I, n_{II}, n_{III} und n_{IV} stimmen dermaassen mit einander überein, dass in Bezug auf die Schwingungsfrequenz die in der Einleitung erwähnte Aufgabe als genügend gelöst betrachtet werden darf. Die Versuche mit den Solenoiden von 7 und 8 Windungen haben sich als überflüssig gezeigt und brauchen jetzt auch nicht weiter erörtert zu werden.

IV. Die Messung der Dämpfung.

Wie oben schon bemerkt wurde, muss eine Berechnung der Dämpfung aus dem Widerstande, der Capacität und der Selbstinduction zu einem ungenauen Ergebniss führen, wenn man den Widerstand zwischen den Kugeln des Funkenmikrometers während des Ueberschlagens des Funkens = 0 setzt. Während, wie in den folgenden Zeilen noch näher bewiesen werden wird, letztgenannter Widerstand bei der Berechnung der Stromstärke vernachlässigt werden darf, fällt er doch als Ursache vermehrter Dämpfung in vielen Fällen schwer in's Gewicht, namentlich wenn die Leitungen des Systems selbst bei grosser Selbstinduction einen absichtlich möglichst gering gemachten Widerstand besitzen. In anderen Fällen bietet die Berechnung des Widerstandes des Solenoiddrahtes grosse Schwierigkeiten, sobald als Material Eisen gewählt wird, weil der wechselnde Werth der magnetischen Permeabilität μ nicht genau ermittelt werden kann.

Es ist darum für unseren Zweck nothwendig, auf irgend eine Weise auf experimentellem Wege den Betrag der Dämpfung zu messen oder wenigstens die Dämpfung der Wechselströme, die beim Gebrauch der verschiedenen Solenoide erzeugt wurden, mit einander zu vergleichen.

Letzteres ist schon einigermaassen möglich durch eine nähere Betrachtung der Funkenphotogramme, die eine grössere Zahl von

Strichen zeigen, je nachdem die Dämpfung des Wechselstromes geringer ist[1]). Aber diese Methode konnte nicht befriedigen.

Mit gutem Erfolg wurde dann zu bolometrischen Wahrnehmungen übergegangen. In Fig. 4 ist eine Vorrichtung abgebildet, die der Hauptsache nach aus der Wheatstone'schen Combination *CDFE* besteht. Der Hauptstrom wird durch eine Accumulatorenbatterie *B* geliefert, während die Widerstände in den vier Zweigen derartig regulirt sind, dass das Galvanometer *G*, das sich in der Brücke *DE* befindet, keinen Strom zeigt.

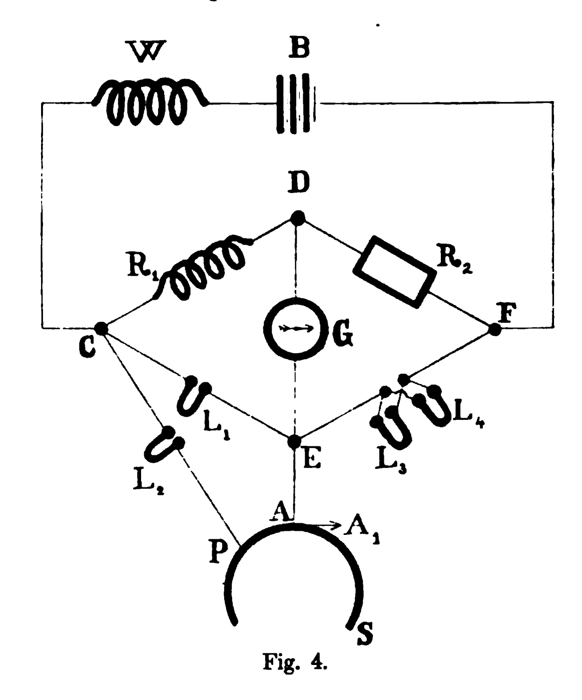


Fig. 4.

Der Zweck ist, nur einen der Zweige der Wheatstone'schen Combination durch die frequenten Wechselströme, deren Dämpfung gemessen werden wird, durchströmen zu lassen. Dieser Zweig wird dadurch erwärmt und ihr Widerstand verändert werden mit der Folge, dass das Gleichgewicht im Systeme zerstört und ein Strom durch das Galvanometer geschickt wird.

Der erwähnte Zweig liegt zwischen den Punkten *C* und *E* in der Figur. Er besteht aus zwei Theilen: CL_1E und CL_2PAE,

1) Siehe den vorigen Abschnitt.

worin L_1 und L_2 Glühlampen vorstellen und PA ein Stück des Solenoids S ist. Der Punkt A des Solenoids liegt symmetrisch hinsichtlich der Batterien von Leydener Flaschen und behält durch eine tüchtige Erdableitung A_1 immer das Potential der Erde. Der Widerstand des kurzen Stückes PA des Solenoids ist gering, so dass wir den ganzen Widerstand im Zweige zwischen C und E bei roher Schätzung der Hälfte eines Lampenwiderstandes gleich setzen dürfen.

Im Zweige EF sind gleichfalls zwei Glühlampen L_3 und L_4 neben einander geschaltet. Auch hier muss also der Widerstand auf ungefähr die Hälfte desjenigen einer Lampe angenommen werden. Die Lampen sind alle für 110 Volt und 5 Kerzen angefertigt und haben kalt einen Widerstand von rund 1000 Ohm[1]). Der Widerstand jedes der Zweige $CPAE$ und EF ist also ungefähr 500 Ohm.

Im Zweige CD befindet sich eine absichtlich zu dem Zwecke angefertigte Rolle R_1 von 1762 Windungen von Manganindraht, dessen Widerstand ungefähr 1200 Ohm beträgt. Die Rolle ist über einen Kern von Eisendrähten geschoben, um ihre Selbstinduction möglichst zu vergrössern.

Im Zweige DF befindet sich ein Widerstandskasten R_2, womit der Widerstand bis auf Zehntel eines Ohmes regulirt werden kann, und weiter ein gespannter dicker Manganindraht mit Schiebercontact, wodurch man in den Stand gesetzt wird, die Regulirung des Widerstandes mit der erwünschten Feinheit und Leichtigkeit zu vollenden.

Die Batterie B besteht aus vier Accumulatoren und in die Hauptleitung bei W ist die secundäre Rolle eines Inductoriums eingeschaltet. Ebenso wie die Rolle R_1 ist auch die Rolle W, um ihre Selbstinduction zu vergrössern, über einen Kern von Eisendrähten geschoben.

Als Strommesser G wurde ein Kugelpanzer-Galvanometer von du Bois und Rubens angewendet, das vom Solenoid und vom grossen Ruhmkorff-Inductor entfernt, in einem anderen Zimmer des Laboratoriums auf einer erschütterungsfreien Vorrichtung von W. H. Julius aufgestellt war. Der innere Widerstand des Galvanometers betrug 4012 Ohm; 1 cm bleibender Ausschlag wird durch

---

1) Der Widerstand verschiedener derartiger Lampen ist sehr ungleich. Einige früher untersuchten hatten ungefähr 1400 Ohm. Die hier angewendeten vier Exemplare hatten jedoch bei Durchströmung unter 4 Volt Spannung 892,5, 1076, 1035 und 1148 Ohm.

einen Strom von $1{,}458 \times 10^{-9}$ Ampère erzeugt; die halbe Schwingungsperiode betrug 3,67 Sec. und das Dämpfungsverhältniss 2,2.

Die Proportionalität der Ausschläge mit den Stromstärken wurde gesondert untersucht und genügend befunden, während die erschütterungsfreie Vorrichtung beim Gebrauche nichts zu wünschen übrig liess, weil sie die Abweichungen, die durch Erschütterungen der Umgebung auf die 5 m entfernt stehende Scala erzeugt wurden, bis auf einen Bruchtheil eines Millimeters beschränkte.

Schon kurz, nachdem in der in Fig. 4 abgebildeten Vorrichtung die Leitungen verbunden und die Widerstände regulirt waren, war die Constanz der Galvanometerstellung gesichert. Der Nullpunkt schwankte während einer ganzen Versuchsreihe nur unbedeutend, und der Einfluss dieser Schwankungen wurde ausserdem noch verringert, indem sowohl unmittelbar vor wie unmittelbar nach jedem Ausschlag eine Ablesung gemacht wurde.

Die grosse Constanz des Nullpunktes muss zweifelsohne erstens dem geringen Temperaturcoëfficienten des Manganins in den Widerständen R_1 und R_2 und zweitens dem Umstande zugeschrieben werden, dass die Lampenwiderstände sich in luftleeren Räumen befanden. Durch ein paar einfache Schirme wurden die Lampen schon genügend gegen die schwankende Strahlung der Umgebung geschützt.

Es fällt nicht schwer einzusehen, dass die frequenten Wechselströme des Solenoids nur durch den Zweig $CPAE$ geführt werden. Von C aus werden sie in der Hauptleitung durch die grosse Selbstinduction der Rolle W, im Zweig CD durch die grosse Selbstinduction der Rolle R_1 gehemmt, während der Punkt E bei allen Stromoscillationen immer das Potential der Erde behält[1]).

Durch die Verbindung des Stückes PA des Solenoids mit der Wheatstone'schen Combination wird die Stromstärke im Solenoid selbst verändert, in so geringem Maasse jedoch, dass die Aenderung vernachlässigt werden darf. Die Impedanz des Solenoidstückes zwischen P und A ist für die maximale Länge, die bei den Messungen diesem Stücke gegeben wurde, nicht einmal 1 % des Widerstandes in der Leitung PL_2CL_1EA.

Beschreiben wir jetzt die Messungen näher und nehmen wir diejenigen mit dem kupfernen Solenoid I als Beispiel.

1) Die oben beschriebene Methode scheint mir u. A. dadurch, dass das Erdpotential an einem der Enden des Galvanometerdrahtes beibehalten bleibt, einige Vorzüge vor der Methode von Paalzow-Rubens zu besitzen.

Das Funkenmikrometer wird auf 2,12 mm gesetzt, und für *PA* wird ein Stück = 80 cm genommen. Eine Wimshurst-Elektrisirmaschine lädt die Batterien von Leydener Flaschen bis zu so hohem Potential, dass schliesslich ein Funke zwischen den Kugeln des Funkenmikrometers überschlägt. Während des Ladens der Batterien bleibt das Galvanometer in Ruhe, aber in dem Momente, wo der Funke überschlägt, schlägt das Spiegelbild 54,1 cm nach rechts aus. Nach ungefähr 2 Minuten ist das Spiegelbild wieder so gut wie vollkommen zum Nullpunkt zurückgekehrt. Die Elektrisirmaschine, die nach dem Ueberschlagen des Funkens in Ruhe gesetzt war, wird wieder in Bewegung gebracht, bis ein neuer Funke überschlägt. Jetzt beträgt der Galvanometerausschlag 53,7 cm. Eine dritte Messung liefert den Betrag von 53,1 cm.

Danach wird die Verbindung mit dem Solenoid geändert und der Punkt *P*, der erst 80 cm rechts von *A* gewählt worden war, an eine Stelle 80 cm links von *A* gerückt. Die Galvanometerausschläge finden jetzt in derselben Richtung und zu demselben Betrage statt. Die drei Ausschläge mit dem Punkte *P* rechts von *A* betrugen durchschnittlich 53,6 cm, die drei Ausschläge mit dem Punkte *P* links von *A* durchschnittlich 53,5 cm.

Aus der Einrichtung der Versuche darf erwartet werden, dass der Galvanometerausschlag der Energie des Wechselstromes proportional ist, der jedes Mal beim Ueberschlagen des Funkens durch den Zweig *CPAE* geführt wird. Weil diese Energie dem Quadrate der Stromstärke proportional ist, muss auch der Galvanometerausschlag zunehmen mit dem Quadrate der Länge *PA* und gleichfalls mit dem Quadrate des Potentialunterschiedes, der durch Aenderung der Funkenlänge im Funkenmikrometer regulirt wird. Beide Beziehungen werden unmittelbar durch die Versuche bestätigt.

Nachdem *PA* von 80 cm bis auf 40 cm zurückgebracht war, wurden wieder sechs Messungen ausgeführt, drei, während *P* sich rechts, und drei, während *P* sich links von *A* befand. Das mittlere Ergebniss der sechs Messungen betrug 13,0 cm. Der aus der erstgenannten Reihe von sechs Beobachtungen berechnete Betrag ist $\frac{53,6}{4} = 13,4$ cm, was genügend mit dem unmittelbar wahrgenommenen Betrag übereinstimmt.

Nachdem die Funkenlänge von 2,12 bis auf 4,24 mm vergrössert worden war, ergab sich als Mittelwerth von sechs Beobachtungen

der Betrag von 40,75 cm. Bei dieser Verlängerung der Funkenstrecke wird der Potentialunterschied zwischen den Kugeln des Funkenmikrometers im Verhältniss[1]) von 1 : 1,717 vergrössert. Die Quadrate verhalten sich wie 1 : 2,945, und berechnet man hiernach, wie gross der Galvanometerausschlag bei einer Funkenlänge von 2,12 mm sein müsste, so findet man 13,8 cm, während, wie schon erwähnt wurde, der wirkliche Ausschlag 13,0 cm ist.

Die oben beschriebenen 18 Messungen, die mit dem kupfernen Solenoid I verrichtet waren, wurden mit den anderen Solenoiden wiederholt. Die Funkenlänge wurde immer zwischen 2,12 und 4,24 mm variirt, während der Punkt P wechselweise rechts und links von A genommen wurde. Bei Solenoid II wurde die Länge von PA zwischen 80 und 160 cm, bei Solenoid III zwischen 120 und 240 cm und beim eisernen Solenoid IV zwischen 160 und 320 cm variirt. Aus den gefundenen Galvanometerausschlägen wurde mit Beachtung der oben erörterten Regeln berechnet, wie gross die Ausschläge für eine Funkenlänge = 2,12 mm und eine Stromableitung von PA = 80 cm sein müssten.

Die Mittelwerthe der vier Reihen von je 18 Beobachtungen sind:

Für Solenoid	I	(Kupfer)	53,7 cm
„ „	II	(dicker Nickelindraht)	47,6 „
„ „	III	(dünner Nickelindraht)	15,49 „
„ „	IV	(Eisen)	8,13 „

Diese Zahlen drücken die Verhältnisse der Energie des Wechselstromes aus, der jedes Mal beim Ueberschlagen eines gleich grossen Funkens in den Solenoiden erzeugt wird. Sie bilden die Basis für die Berechnung[2]) der Werthe des logarithmischen Decrementes δ.

Man findet für

Solenoid	I	$\delta_I = 0,0895$
„	II	$\delta_{II} = 0,1010$
„	III	$\delta_{III} = 0,3139$
„	IV	$\delta_{IV} = 0,615.$

Wird der Werth von $\frac{1}{\delta}$ für das kupferne Solenoid gleich 10 gesetzt, so wird dieser Betrag für die anderen Solenoide:

1) Berechnet nach den Angaben von Kohlrausch. Leitfaden der prakt. Physik. 1896.

2) Siehe den Anhang zu Abschnitt VI.

I (Kupfer). . , ...	10,0
II (dicker Nickelindraht) . .	8,87
III (dünner Nickelindraht). .	2,86
IV (Eisen)	1,455.

Man kann dasselbe in anderen Worten auch so ausdrücken, dass, falls 10 Perioden erforderlich sind, die Amplitude der Wellenbewegung im kupfernen Solenoid in einem gewissen Verhältniss zu verkleinern, dieselbe Verringerung — immer bei gleicher Oscillationsfrequenz — im Solenoid II schon nach 8,87, im Solenoid III nach 2,86 und im Solenoid IV nach 1,455 Perioden erreicht wird.

Die angegebenen Verhältnisse kommen nahezu ganz mit den Verhältnissen der Galvanometerausschläge überein. Um die Vorstellung zu erleichtern, ist Fig. 2 (in der Einleitung) derart construirt worden, dass das logarithmische Decrement der Curve *A* demjenigen des Wechselstromes des kupfernen Solenoids I gleich ist, während das logarithmische Decrement der Curve *B* mit demjenigen des Wechselstromes des eisernen Solenoids IV übereinstimmt. Erst nach zehn Wellen wird die Verringerung der Amplitude in Curve *A* ebenso viel betragen wie schon nach 1,455 Welle in Curve *B*.

V. Versuche mit dem Nervmuskel-Präparat.

Im Gebrauch der feuchten Kammer, worin der Nerv des physiologischen Rheoskopes auf unpolarisirbare Elektroden ausgestreckt lag, und worin die verschiedenen Theile derart isolirt waren, dass man, wie schon in der Inaugural-Dissertation des Herrn P. A. Moerman beschrieben wurde, ohne Schwierigkeit mit Strömen von einigen Tausenden Volt Spannung arbeiten konnte, wurde eine Verbesserung gebracht, die uns bequem und vortheilhaft war. Es wurde nämlich während der Dauer der Versuche ein Strom von bei Zimmertemperatur mit Wasserdampf gesättigter Luft durch die Kammer geführt. Ein Wasser-Trommelgebläse trieb die Luft erst durch eine Woulff'sche Flasche *A*, dann durch eine Bleiröhre, eine zweite Woulff'sche Flasche *B* und schliesslich durch die feuchte Kammer. Die Flasche *A* enthielt Wasser, das in einem Wasserbade auf ungefähr 50° gehalten wurde, die Bleiröhre lag in einem Wasserbade von Zimmertemperatur aufgerollt, und die Woulff'sche Flasche *B* wurde, mit einer 0,6%igen NaCl-Lösung oder mit Wasser gefüllt,

gleichfalls auf Zimmertemperatur gehalten[1]). Der Einfluss dieser Durchströmung auf die Constanz des Präparates war sehr deutlich: die Erregbarkeit blieb während einiger Stunden nahezu unverändert, was selbstverständlich die Messungen erleichterte.

Als Elektricitätsquelle wurde sowohl eine Wimshurst-Elektrisirmaschine als ein Rhumkorff-Inductorium angewendet. Für letzteres war ein sehr einfacher Unterbrecher angefertigt. An einem langsam drehenden Rade mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit = 3,5 Sec. war ein Zapfen befestigt, der je ein Mal während einer Umdrehung gegen einen Hebel stiess. Hierdurch wurde letzterer, woran ein in Quecksilber untergetauchter Platinadraht befestigt war, plötzlich aufgehoben und unmittelbar danach wieder niedergelassen, so dass der Quecksilberplatina-Contact nur für einen kurzen Moment unterbrochen wurde.

Der Strom durch die primäre Rolle des Inductoriums wurde immer so regulirt, dass bei jeder Unterbrechung noch gerade ein Funke überschlug. Es wurde also eine geringe Zahl von Accumulatoren und ein möglichst grosser Widerstand eingeschaltet. Wenn von dieser Vorschrift abgewichen wurde, wurde die erregende Wirkung unserer Wechselströme, wie eine absichtlich darüber angestellte Untersuchung zeigte, ein wenig verstärkt.

Das kupferne Solenoid I wurde mit den Batterien der Leydener Flaschen verbunden, die Funkenlänge im Funkenmikrometer auf 2,12 mm eingestellt und der Strom in der primären Rolle des Inductoriums auf 2 Amp. regulirt. Schon bei 1,8 Amp. konnte dann und wann das Ueberschlagen eines Funkens beobachtet werden, aber dies fand erst ziemlich regelmässig bei jeder Contactunterbrechung statt, als der Strom bis auf 2 Amp. verstärkt worden war.

Jetzt wurde auf die bekannte Weise der Wechselstrom des Solenoids nach dem Nerven abgeleitet und die kleinste Drahtlänge gesucht, bei welcher der abgeleitete Strom noch eben im Stande war, eine Reaction des Nervmuskel-Präparates zu erzeugen[2]). Als

---

1) Eine 0,6 %ige NaCl-Lösung und Wasser haben nahezu gleiche Dampfspannungen. Die durch das NaCl bedingte Dampfdruck-Erniedrigung beträgt nur einige Zehntel-Procent.

2) Ueberschreitet die Stromstärke den Grenzwerth, so wird die Muskelzuckung kräftiger. Ich möchte hier nachdrücklich betonen, dass die Zunahme der Contraction bei Vermehrung der Stromstärke sehr allmählich stattfindet. Weil man die Stromstärke leicht dadurch regulirt, dass man die Drahtlänge, von

Mittelwerth von vier Wahrnehmungen, wovon zwei mit einer Ableitung links und zwei andere mit einer Ableitung rechts vom Nullpunkte des Solenoids gemacht waren, wurde eine Drahtlänge $l = 85$ cm gefunden.

Danach wurde der Strom in der primären Rolle des Inductoriums bis auf 2,5, 3,3, 5 und 10 Amp. verstärkt und schliesslich die ursprüngliche Stromstärke von 2 Amp. wieder hergestellt. Die mittleren Ergebnisse sind in untenstehender Tabelle II vereinigt und ausserdem in Fig. 5 graphisch dargestellt.

Tabelle II.

Stromstärke in Ampères	Benöthigte Drahtlängen in Centimetern
2,0	85
2,5	75
3,3	74
5,0	70
10,0	71

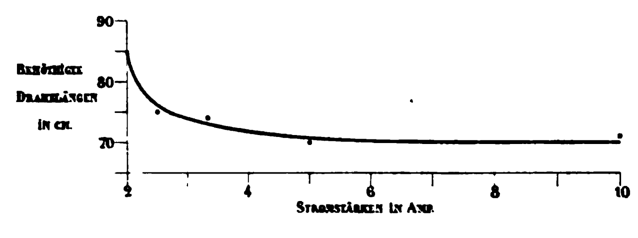


Fig. 5.

In der Figur sind auf der Abscissenachse die Stromstärken der primären Inductoriumrolle verzeichnet, während die benöthigten Drahtlängen auf der Ordinatenachse abgemessen worden sind.

Wir sehen, dass bis zu einer gewissen Grenze die benöthigte Drahtlänge abnimmt, das heisst, dass die erregende Wirkung des Solenoidstromes auf den Nerven zunimmt, wenn die Stromstärke in der primären Inductoriumrolle vergrössert wird. Die Vermehrung der erregenden Wirkung auf den Nerven ist jedoch gering, weil sie

---

welcher der Strom abgeleitet wird, willkürlich vergrössert oder verkleinert, so beherrscht man die Kraft der Muskelcontraction auch vollkommen. In dieser Hinsicht kommt die Methode der frequenten Wechselströme vielen anderen Methoden der elektrischen Reizung gleich oder übertrifft dieselben.

maximal nur 21 % beträgt, während doch der Strom in der primären Inductoriumrolle im Verhältniss von 1 bis 5, seine Energie im Verhältniss von 1 bis 25 zugenommen hat.

Wie muss die vermehrte Wirkung des Solenoidstromes erklärt werden?

Um die Veränderungen besser zu verstehen, welche im Solenoidstrom stattfinden, wenn bei gleicher Funkenlänge die Stärke des primären Inductoriumstromes variirt wird, haben wir eine Anzahl galvanometrischer Wahrnehmungen auf die im vorigen Abschnitt beschriebene Weise verrichtet.

Die Funkenlänge wird auf 2,12 mm regulirt, das eiserne Solenoid IV wird eingeschaltet, und von einer Drahtlänge = 120 cm wird der Strom nach der Wheatstone'schen Combination abgeleitet. Bei einer Stromstärke in der primären Inductoriumrolle von 1,935 Amp. kann noch gerade ein Funke erhalten werden. Bei Stromschliessung in der primären Rolle blieb das Galvanometer in der Wheatstoneschen Combination in vollständiger Ruhe. Wenn die Kugeln des Funkenmikrometers so weit aus einander geschraubt werden, dass kein Funke überschlagen konnte, hatte auch Stromunterbrechung keinen Erfolg. Aber beim Ueberschlagen eines Funkens zeigte das Galvanometer ebenso wie bei den Versuchen mit der Elektrisirmaschine regelmässig einen Ausschlag.

Nachdem die Empfindlichkeit des Galvanometers durch eine Nebenschliessung verringert worden war, erhielten wir bei verschiedenen Stromstärken in der primären Inductoriumrolle die Ausschläge, die in der zweiten verticalen Reihe der Tabelle III vereinigt sind.

Tabelle III.

Stromstärken in der primären Inductoriumrolle	Beobachtete Galvanometerausschläge cm	Berechnete Galvanometerausschläge cm
1,935 Amp.	8,0	8,2
2,307 „	9,0	11,7
2,86 „	15,8	18,0
3,00 „	19,85	19,8
3,75 „	30,7	30,9
4,00 „	35,2	35,2
5,45 „	63,7	65,2
6,00 „	77,0	79,2

Die Galvanometerausschläge zeigen sich nahezu den Quadraten der Stromstärke proportional. In der dritten Reihe obenstehender Tabelle findet man die Ausschläge, die nach dieser Proportionalität aus dem beobachteten Betrage von 35,2 cm berechnet sind. Die berechneten Werthe weichen nicht erheblich von den direct beobachteten ab.

Die Energievermehrung des Solenoidstromes bei der Zunahme der Stromstärke in der primären Inductoriumrolle kann auf befriedigende Weise erklärt werden, indem man annimmt, dass durch einen einzigen Oeffnungsinductionsstrom die Batterie von Leydener Flaschen mehrere Male geladen werden kann. Wir bekommen dann durch eine einzige Contactunterbrechung in der primären Leitung des Inductoriums nicht mehr einen gedämpften Wechselstrom im Solenoid, sondern es werden eine Anzahl solcher Wechselströme erzeugt, die mit kurzen Zeitintervallen auf einander folgen. Und je mehr Elektricität bei jedem Inductionsstoss durch den secundären Draht getrieben wird, desto grösser wird die Zahl der gedämpften Wechselströme im Solenoid sein.

Hiermit muss die bekannte Thatsache in Verbindung gebracht werden, dass bei gleichbleibender gegenseitiger Distanz der Kugeln des Funkenmikrometers der Funke seinen Charakter sichtbar und hörbar verändert, wenn die Stromstärke im primären Draht des Inductoriums variirt wird.

Die Ursache der verstärkten Wirkung des Solenoidstromes scheint uns in dem Umstande gesucht werden zu müssen, dass das Nervmuskel-Präparat weniger kräftig auf den Reiz eines einzigen, kurz andauernden, gedämpften Wechselstromes reagirt als auf eine Anzahl schnell nach einander folgender ganz gleicher Reize; dass also in gewissem Grade eine Summation der erregenden Wirkung stattfindet.

Die Frage, inwiefern noch andere Erklärungen für diese Erscheinung möglich sind, wollen wir dahin gestellt sein lassen, erinnern jetzt aber daran, dass die vermehrte Wirkung des Solenoidstromes nur gering ist, und kommen zu dem Resultat, dass das Rhumkorff-Inductorium bei den Messungen mit dem Nervmuskel-Präparate mit gutem Erfolge namentlich dann angewendet werden kann, wenn man die Stärke des inducirenden Stromes während einer Versuchsreihe unverändert lässt. Das Inductorium hat den Vozug vor der Elektrisirmaschine, dass seine Anwendung bequemer ist und man ausserdem mit demselben die Symmetrie der ganzen Aufstellung besser verbürgt.

Eine specielle Untersuchung zu dem Zwecke, das Inductorium direct mit der Elektrisirmaschine zu vergleichen, zeigte, dass man wenigstens bei den von uns angewendeten Funkenlängen und Stromstärken mit beiden Instrumenten Wechselströme bekommt, die das Nervmuskel-Präparat genau gleich stark erregen.

Nachdem die Funkenlänge auf 2 mm regulirt und das kupferne Solenoid I eingeschaltet war, musste der Strom, um noch eben eine Muskelzuckung zu erzeugen, beim Gebrauch des Inductoriums von 70 cm Drahtlänge, beim Gebrauch der Elektrisirmaschine von 71 cm Drahtlänge abgeleitet werden. Nachdem die Funkenlänge bis auf 4,3 mm vergrössert und das eiserne Solenoid IV an die Stelle des kupfernen gesetzt war, wurde beim Gebrauch des Inductoriums eine Stromableitung von 42 cm, beim Gebrauch der Elektrisirmaschine von 45 cm erfordert.

Versuche mit einem anderen Präparate, der Funkenlänge 2,12 mm und dem kupfernen Solenoid I machten beim Gebrauch der beiden Elektricitätsquellen genau dieselbe Drahtlänge von 90 cm nöthig. Diese Beweise mögen genügen, das oben Behauptete zu bestätigen.

Wir schreiten jetzt zur Vergleichung der verschiedenen Solenoide mit einander.

Bei den Messungen wurden die Stromableitungen wechselweise links und rechts des Nullpunktes genommen, während zugleich dafür gesorgt wurde, dass durch Stromumschaltung in der primären Inductoriumrolle die erste Phase des reizenden Wechselstromes im Nerven immer absteigend war. Um den Einfluss der — übrigens kaum merklichen — Ermüdung des Präparates auf das Resultat der Messungen auszuschliessen, wurde bei jeder einzelnen Versuchsreihe die Untersuchung des zuerst angewendeten Solenoids am Schlusse wiederholt.

Hier unten folgen in der Tabelle IV die Zahlen, welche die benöthigten Drahtlängen angeben und die jede den Mittelwerth einer Anzahl von einzelnen Ergebnissen darstellen.

Tabelle IV.

Untersuchung bei den Funkenlängen	Benöthigte Drahtlängen			
	Solenoid I	Solenoid II	Solenoid III	Solenoid IV
2,12 mm	56,5 cm	57,5 cm	63,5 cm	53,5 cm
1,06 „	90,0 „	92,5 „	104,5 „	80,0 „

Setzt man die benöthigte Drahtlänge des Solenoids I = 100, so werden diejenigen der anderen Solenoide auf die Werthe berechnet, die in untenstehender Tabelle V eingetragen sind.

Tabelle V.

Untersuchung bei den Funkenlängen	Berechnete Drahtlängen			
	Solenoid I	Solenoid II	Solenoid III	Solenoid IV
2,12 mm	100	101,8	112,4	94,6
1,06 „	100	102,8	116,1	88,9
Durchschnittlich	100	102,3	114,2	91,7

Die bei einem anderen Präparate erhaltenen Ergebnisse findet man in den Tabellen VI und VII übersichtlich dargestellt. Bei diesem Präparate wurden nur die Solenoide I, III und IV mit einander verglichen.

Tabelle VI.

Untersuchung bei den Funkenlängen	Benöthigte Drahtlängen		
	Solenoid I	Solenoid III	Solenoid IV
1,59	114,5	135,7	98,0
2,65	77,3	84,2	71,0
3,71	55,0	64,5	53,2

Tabelle VII.

Untersuchung bei den Funkenlängen	Berechnete Drahtlängen		
	Solenoid I	Solenoid III	Solenoid IV
1,59	100	118,5	85,5
2,65	100	108,9	91,9
3,71	100	117,1	96,7
Durchschnittlich	100	114,8	91,4

Die Mittelwerthe der Tabelle V stimmen sehr gut mit denjenigen der Tabelle VII überein. Die für beide Präparate zusammen berechneten Mittelwerthe findet man in der nächsten Tabelle VIII.

Tabelle VIII.

Solenoid I	Solenoid II	Solenoid III	Solenoid IV
100	102,3	114,5	91,5

VI. Uebersicht der erhaltenen Ergebnisse. Die Theorien der Nervenerregung von Hoorweg und Hermann.

In untenstehender Tabelle IX sind die Ergebnisse der vorangehenden Abschnitte zusammen vereinigt.

Tabelle IX.

Solenoide	Verhältniss der Grenzwerthe der Stromstärke bei der Nervenerregung	Verhältniss der Oscillations-frequenzen	Verhältniss der Werthe $\frac{1}{\delta}$
I (Kupfer)	100	100	100
II (dicker Nickelindraht) .	102,3	98,7	88,7
III (dünner Nickelindraht) .	114,5	103	28,6
IV (Eisen)	91,5	97,8	14,55

In die vierte Reihe sind die Verhältnisse von $\frac{1}{\delta}$ eingetragen worden, während δ das logarithmische Decrement vorstellt. Die Unterschiede in der Dämpfung der Wechselströme sind fast bis auf das praktisch erreichbare Aeusserste getrieben. Das Solenoid I war mit möglichst geringem Widerstande construirt, während das eiserne Solenoid IV einen so grossen Widerstand besass, dass in den Funkenphotogrammen nur zwei Striche beobachtet werden können, die selbstverständlich das Minimum darstellen, das zur Messung der Oscillationsfrequenz erforderlich ist. Nichtsdestoweniger sind die benöthigten Drahtlängen und damit auch die erregende Wirkung beim Gebrauch der verschiedenen Solenoide ungefähr gleich gross. Der Unterschied von 2,3 % beim Gebrauch von Solenoid II fällt innerhalb der Beobachtungsfehler, während die Unterschiede bei den Solenoiden III und IV noch theilweise durch die geänderte Oscillationsfrequenz erklärt werden. Beim Solenoid III ist die Schwingungsfrequenz etwas grösser, daher ist der Nerv für die mit diesem Solenoid erzielten Wechselströme etwas weniger erregbar, während beim Solenoid IV die Schwingungsfrequenz etwas kleiner und darum die erregende Wirkung etwas grösser ist.

Vielleicht ist eine Warnung bei der Beurtheilung von Tabelle IX hier nicht ganz überflüssig. Weil die Frage nach dem Verhältniss der Oscillationsfrequenz zur benöthigten Stromstärke für die Theorie der Nervenreizung ein besonderes Interesse hat, könnte man vielleicht dazu verführt werden, zu versuchen, aus den obenstehenden Zahlen

dieses Verhältniss zu berechnen. Das würde jedoch fehlerhafte Resultate ergeben. Die Schwingungsfrequenzen sind bei unseren Versuchen absichtlich einander möglichst gleich gemacht, so dass die kleinen, übrig bleibenden Unterschiede eine sehr mangelhafte Basis für die Berechnung des gesuchten Verhältnisses bilden würden. Letzteres kann natürlich nur dann einigermaassen genau bestimmt werden, wenn die Unterschiede der Osillationsfrequenz viele Male grösser sind als die zufälligen Beobachtungsfehler, und das war bei unserer früheren Untersuchung auch thatsächlich der Fall.

Die in diesem Aufsatz publicirten Versuche berechtigen nur zu der Behauptung, dass bei Wechselströmen von $2,3 \times 10^5$ Perioden per Secunde der Betrag der Dämpfung keinen merklichen Einfluss auf die Erregungsgrösse ausübt, dass diese also hauptsächlich durch das erste Viertel der ersten Periode bestimmt wird.

Es ist selbstverständlich, dass wir dabei annehmen, dass der Wechselstrom seinen oscillatorischen Charakter behält und die Dämpfung also nicht so weit gehen darf, dass die Elektricitätsbewegung aperiodisch wird. Andererseits bleibt jedoch auch die Frage offen, wie ein absolut ungedämpfter Wechselstrom im Stande ist, Tetanus hervorzurufen. Nur die minimale Anfangszuckung ist hier näher untersucht[1]).

Wir kommen jetzt auf die Theorien der Nervenerregung zurück und zwar an erster Stelle auf diejenige von Hoorweg. Die Forderung der Theorie ist, dass für Wechselströme mit den von uns untersuchten Oscillationsfrequenzen die Stromstärken, die zur Erlangung einer Reaction im Nervmuskel-Präparat benöthigt sind, weniger schnell zunehmen als die Oscillationsfrequenzen. Wir zeigten in unserer früheren Untersuchung, dass das Umgekehrte stattfindet, was also mit der Theorie im offenen Widerspruch ist. Aber Hoorweg, der thatsächlich schon auf schlagende Weise verschiedene Gruppen von Erscheinungen unter einem Gesichtspunkt zu vereinigen gewusst hat, hat gemeint, den vorhandenen Widerspruch aufheben zu können, indem er den Betrag der Dämpfung einführt, und dadurch hat er die Theorie auch auf das Gebiet der gedämpften Wechselströme auszudehnen versucht.

---

1) Siehe hierüber auch Julius Roth, Pflüger's Archiv Bd. 42 S. 91. 1888.

Da sich jedoch aus der hier beschriebenen Untersuchung zeigt, dass der Betrag der Dämpfung eines frequenten Wechselstromes keinen Einfluss auf die Erregungsgrösse ausübt, muss nicht nur die letzte Ausdehnung der Hoorweg'schen Theorie auf die gedämpften Wechselströme, sondern auch die Anwendung auf Wechselströme überhaupt als mit den Erscheinungen im Widerspruch betrachtet werden.

Bevor wir die Theorie Hoorweg's verlassen und zur Besprechung derjenigen Hermann's übergehen, müssen wir erst einen Umstand näher in Betracht ziehen, den man vielleicht bei oberflächlicher Beurtheilung gegen die Zuverlässigkeit unserer Versuche anführen zu können glaubt. Es muss namentlich nach dem Einflusse gefragt werden, den der Funkenwiderstand auf das Resultat unserer Messungen ausgeübt haben könnte.

Schon im vorhergehenden Abschnitt wurde behauptet, dass, sobald die Dämpfung des Wechselstromes berechnet werden muss, der Widerstand, der während des Ueberschlagens eines Funkens zwischen den Kugeln des Funkenmikrometers herrscht, sehr in's Gewicht fällt, dass man diesen Widerstand jedoch bei der Messung der Stromstärke vernachlässigen darf. Jetzt muss noch der Beweis erbracht werden, dass diese Vernachlässigung thatsächlich erlaubt ist. Ist Letzteres nicht der Fall, so müssen wir fragen, welche Veränderungen unsere Resultate durch das In-Rechnung-bringen des Funkenwiderstandes erfahren, und ob die corrigirten Resultate vielleicht besser zu der Hoorweg'schen Theorie stimmen. Das Interesse, das die Theorie Hoorweg's für die allgemeinen Erscheinungen der Erregung hat, macht eine derartige ausführliche Beantwortung sehr erwünscht.

Eine befriedigende Lösung wird nur gefunden werden können, wenn der Funkenwiderstand in absolutem Maasse gemessen wird. Zu diesem Zwecke kehren wir zu den im Abschnitt IV erörterten bolometrischen Beobachtungen zurück. Hierbei gaben die Galvanometer-Ausschläge das Verhältniss der Energiemengen wieder, die im Zweige $CPAE$ der Wheatstone'schen Combination erzeugt wurden. Wir müssen aber jetzt die absoluten Energiemengen kennen zu lernen suchen, und zwar indem wir den Energiewerth bestimmen, der einem Galvanometer-Ausschlag von 1 cm entspricht. Dieser Energiewerth wurde in folgender Weise gemessen.

Dieselbe Vorrichtung, wie in Fig. 4 Abschnitt IV abgebildet, wurde gebraucht, aber an die Stelle des Solenoids S wurde eine

Rolle *M* gebracht, die aus 224 Windungen von durch Guttapercha isolirtem Kupferdraht bestand. Die Rolle, welche die äusseren Belegungen zweier Leydener Flaschen leitend mit einander verband, hatte einen Widerstand = 15,8 Ohm und eine Selbstinduction = $3{,}15 \times 10^{-2}$ Henry. Die Punkte *P* und *A* befanden sich an ihren beiden Enden.

Beim Ueberschlagen eines Funkens im Funkenmikrometer, das zwischen die inneren Belegungen der Leydener Flaschen eingeschaltet war, musste die ganze in den Flaschen angesammelte Energie auf zwei Wegen in Wärme umgewandelt werden. Erstens in der Rolle selbst und zweitens in der Leitung PL_2CL_1EA.

Während bei unseren früheren Versuchen die an letzter Stelle genannte Energie hinsichtlich der Energie im Solenoid vernachlässigt werden durfte, haben wir hier die Verhältnisse absichtlich gerade umgekehrt. Der Energieverlust in der Rolle ist jetzt so gering, dass derselbe hinsichtlich des Energieverlustes im abgeleiteten Kreise vernachlässigt werden darf. Im letzteren kommt also alle in den beiden Leydener Flaschen angesammelte Energie zum Vorschein.

Während wir für die Energieberechnungen auf den Anhang verweisen, darf hier noch kurz bemerkt werden, dass, wenn die Rolle *M* durch eine andere *N* ersetzt wurde, deren Selbstinduction 88 Mal geringer war, die Ergebnisse nahezu unverändert blieben. Als dieselben Leydener Flaschen und dieselbe Funkenlänge gebraucht wurden, war der Galvanometer-Ausschlag bei Einschaltung der Rolle *M* durchschnittlich 90,8 cm und bei Einschaltung der Rolle *N* durchschnittlich 87,9 cm.

Der Ausschlag des Galvanometers behielt dieselbe Richtung und blieb gleich gross, wenn die Verbindungen derart gewechselt wurden, dass der Strom im Zweige PL_2CL_1EA umgekehrt wurde.

Bei der Berechnung der gesammten Energie darf der Energieverlust im Funken ohne Bedenken vernachlässigt werden. Man sieht dies leicht ein, wenn man bedenkt, dass der Widerstand im Zweige PL_2CL_1EA ungefähr 2000 Ohm beträgt, während der Funkenwiderstand — wie gezeigt werden wird — nicht viel grösser als ein paar Ohm ist. Auch wird es unmittelbar durch die Versuche bestätigt, weil ja bei Einschaltung der Rolle *M* der Galvanometer-Ausschlag nahezu ebenso gross ist wie bei Einschaltung der Rolle *N*.

Beide Rollen wurden ohne Eisenkern angewandt. Als in Rolle N ein Eisenkern geschoben wurde in der Meinung, ihre Selbstinduction zu vergrössern, wurden die Galvanometer-Ausschläge kleiner, welche Erscheinung ihre Erklärung in den Wirbelströmen findet, die durch das Eisen getrieben werden und hier ihre Energie in Wärme umwandeln.

Indem wir für Einzelheiten der Berechnung nochmals auf den Anhang verweisen, erwähnen wir hier nur das Endergebniss, dass unter unseren Versuchsbedingungen der Energiewerth von 1 cm Galvanometer-Ausschlag $A_1 = 8730^2 \times 2{,}04 \times 10^{-18}$ Joules ist.

In Verbindung mit den Angaben des Abschnittes IV lässt sich hieraus berechnen, dass beim Gebrauch des kupfernen Solenoids 1 der gesammte Widerstand im Kreise des Hauptstromes $R_I = 3{,}165$ Ohm.

Der Widerstand im Solenoiddraht $R'_I = 0{,}374$ Ohm.

Der Funkenwiderstand $R''_I = 2{,}791$ Ohm.

Weil der Funkenwiderstand viele Male grösser ist als der Widerstand des Solenoiddrahtes, wird der Betrag der Dämpfung namentlich durch den erstgenannten bestimmt. Doch ist sein Einfluss auf die Stromstärke nur gering. Denn das Verhältniss der Stromstärken mit und ohne Funkenwiderstand ist wie

$$\sqrt{(R'_I)^2 + (2\pi n L)^2} : \sqrt{(R'_I + R''_I)^2 + (2\pi n L)^2} = 1 : 1{,}0004.$$

Der durch die Vernachlässigung des Funkenwiderstandes gemachte Fehler beträgt also nur 0,04 % und kann keinenfalls den Schluss beeinträchtigen, dass der Grad der Dämpfung eines frequenten Wechselstromes keinen Einfluss auf die Erregungsgrösse ausübt[1]).

1) Auf dieselbe Weise zeigt die Berechnung, dass auch der durch den Funkenwiderstand hervorgerufene Fehler in den Messungen der Stromstärke vernachlässigt werden darf, wenn eines der drei anderen Solenoide eingeschaltet wird, während gesonderte Messungen, die hier nicht näher erörtert zu werden brauchen, dasselbe für die früher von uns beschriebenen Versuche zeigen, wobei nach einander Wechselströme von $8{,}8 \times 10^6$, 2×10^6 und 65700 Perioden per Secunde angewendet wurden. Nach anderen Methoden verrichtete Messungen des Funkenwiderstandes, — siehe H. Brooks, Philosoph. Magaz. vol. 6 [2] p. 92. 1901, und Pietro Cardani, Physikalische Zeitschr. 1900 Nr. 1 S. 262 — haben Resultate ergeben, die mit den oben beschriebenen in sehr befriedigender Uebereinstimmung sind.

Wir kommen jetzt zu der Besprechung der Theorie Hermann's. Als Basis seiner Theorie nimmt Hermann das allgemeine Erregungsgesetz von E. du Bois-Reymond an:

$$\varepsilon = \alpha \frac{di}{dt},$$

worin ε die Erregungsgrösse, α eine Constante, i die Stromstärke im Nerven und t die Zeit vorstellt.

Von dieser Basis ausgehend gelangt man dazu, die Wirkung eines Wechselstromes als die Wirkung einer Anzahl auf einander folgender gesonderter Reize zu betrachten, und zwar wird die Zahl der Reize ebenso gross oder — wenn man von der Stromrichtung absehen darf — doppelt so gross als die Periodenzahl.

Jede Erregung erreicht dabei in dem Moment ein Maximum, wo die Curve, welche die Stromstärke graphisch darstellt, die Abscissenachse schneidet, weil jedes Mal in diesem Momente auch $\frac{di}{dt}$ zu einem Maximum wird. Wenn die mittlere Stromstärke unverändert bleibt, nimmt bei Vermehrung der Oscillationsfrequenz der Werth von $\frac{di}{dt}$ zu, also muss auch die erregende Wirkung ε mit der Oscillationsfrequenz steigen.

Aber die Erscheinungen, die man bei der Anwendung von Wechselströmen beobachtet, haben eine Anzahl von Forschern zu einer ganz anderen Behauptung veranlasst, nämlich dass die Erregung nur bis auf eine gewisse Grenze mit der Oscillationsfrequenz zunimmt. Eine bestimmte Frequenz entspricht dem Optimum, während bei noch weiterer Zunahme der Frequenz die Erregung wieder verringert wird. Unsere eigene, bereits erwähnte Untersuchung hat sogar gezeigt, dass bei Wechselströmen von 66000 und einer Million Perioden per Secunde die zu einer Erregung erforderliche Stromstärke noch schneller als die Oscillationsfrequenz steigt.

All' diese Erscheinungen sind jedoch nach Hermann[1]) nur scheinbar mit seiner Theorie im Widerspruch. Die aus den Beobachtungen gezogenen Schlüsse sollen auf einer fehlerhaften Be-

1) L. Hermann, Ueber Nervenerregung durch Wechselströme und die Theorie der Nervenerregung. Pflüger's Arch. Bd. 83 S. 353. 1901. — Siehe auch: Id., Zur Theorie der Erregungsleitung und der elektrischen Erregung. Ibid. Bd. 75 S. 574. 1899. Id., Bemerkung zur Theorie der Nervenerregung. Ibid. Bd. 86 S. 103. 1901.

rechnung der Stromstärke beruhen. Man habe die Stromstärke aus den angebrachten Potentialunterschieden und dem Widerstand des Nerven hergeleitet, während man ganz übersehen habe, dass für den Gang der oscillirenden Stromstärke der Nerv selbst ein wesentliches Wort mitspreche. Denn der Nerv entwickele zwei Gegenkräfte: 1. die des Actionsstromes und 2. die Polarisation in der durchflossenen Nervenstrecke.

Nun haben wir thatsächlich unsere Stromstärken aus den angebrachten Potentialunterschieden und dem Widerstand berechnet und dabei die durch den Nerven entwickelten Gegenkräfte ganz vernachlässigt. Wir sind also genöthigt, uns zu fragen, ob die Vernachlässigung berechtigt ist.

Das sicherste Mittel, den von Hermann erwähnten Bedenken vollkommen gerecht zu werden, wäre, die oscillirende Stromstärke i unmittelbar zu messen, und zwar so, dass sie auch bei gedämpfter Schwingung in allen Phasen einer Periode bekannt würde. Diese Methode bietet für Wechselströme von ungefähr einer Million Perioden per Secunde vorläufig noch unüberwindliche Schwierigkeiten dar.

Eine andere Methode, die Bedenken Hermann's zu beurtheilen, besteht darin, dass man die Beträge der durch Actionsstrom und Polarisation entwickelten Gegenkräfte in Rechnung bringt. Unmittelbare und genaue Messungen dieser Kräfte sind sehr schwer ausführbar; wir werden uns jedoch fragen, wie viel der maximale Fehler, der durch die Vernachlässigung derselben in unsere Stromstärke-Berechnung gebracht wird, möglicher Weise betragen kann.

Die Bedingungen unserer früheren Untersuchung waren so, dass am Nerven ein oscillirender Potentialunterschied $E \cos mt$ angebracht wurde[1]). Hierin bedeutet E das Maximum des Potentialunterschiedes, während $m = 2\pi n$ ist und n die Periodenzahl angibt.

Vernachlässigt man die von Hermann erwähnten zwei Gegenkräfte, so hat man

$$i = \frac{E \cos mt}{w} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1),$$

1) Die Wechselströme sind behufs der Einfachheit der Berechnung ungedämpft angenommen. Es hat keinen Sinn, die Beweisführung zu compliciren, indem die Dämpfung in Rechnung gebracht wird; um so weniger, weil jetzt bewiesen worden ist, dass der Betrag der Dämpfung keinen Einfluss auf die Erregungsgrösse ausübt.

worin i die oscillirende Stromstärke und w den Widerstand des Nerven bedeutet.

Der Maximalwerth der Stromstärke ist

$$i_{max} = \frac{E}{w} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Bringt man jedoch die beiden Gegenkräfte in Rechnung, so wird die Gleichung (1) in untenstehende Gleichung (3) umgewandelt

$$i' = \frac{E \cos mt - a - p}{w} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3),$$

worin a die elektromotorische Kraft des Actionstromes und p die elektromotorische Kraft der Polarisation bedeutet. a und p sind rhythmisch veränderliche Werthe, während i' die ohne Vernachlässigung der Gegenkräfte berechnete oscillirende Stromstärke ist.

Nennen wir die Maxima von a und p respective A und P, so können wir schreiben

$$i' \geq \frac{E \cos mt - (A + P)}{w},$$

woraus sich ergibt

$$i'_{max} \geq \frac{E - (A + P)}{w},$$

und weil $i_{max} = \frac{E}{w}$ ist, haben wir auch

$$\frac{i'_{max}}{i_{max}} \geq \frac{E - (A + P)}{E}.$$

Auf ähnliche Weise wird bewiesen, dass

$$\frac{i'_{max}}{i_{max}} \leq \frac{E + (A + P)}{E}.$$

Für den Fall, dass A und P beide $= 0$ sind, wird dann $\frac{i'_{max}}{i_{max}} = 1$.

Unsere Aufgabe wird jetzt einfach auf die Frage reducirt, ob wir $A + P$ hinsichtlich E vernachlässigen dürfen.

Bleiben wir nach einander bei den Werthen von E, A und P gesondert still stehen.

Bei den Untersuchungen, die ich gemeinschaftlich mit Herrn Moerman verrichtete, und wobei Wechselströme von $8{,}8 \times 10^5$ Perioden per Sec. benutzt wurden[1]), fanden wir, dass der Schwellenwerth von E für ein Präparat, das wechselweise erwärmt und abgekühlt wurde, zwischen 1021 Volt bei einer Temperatur $= 25^{\circ}$,

---

1) A. a. O.

und 4366 Volt bei einer Temperatur = 2° variirte. Für die meisten Präparate wurde bei Zimmertemperatur der Schwellenwerth von E = ungefähr 2000 Volt gefunden. Wurden dieselben Präparate bei unveränderten Elektroden durch die Schliessung eines auf- oder absteigenden constanten Stromes gereizt, so war ein Betrag von weniger als 0,1 Volt schon genügend, eine Muskelzuckung hervorzurufen.

Für den Betrag von A, der elektromotorischen Kraft des Actionsstroms eines Frosch-Ischiadicus, finden wir bei den meisten Forschern als Ergebniss galvanometrischer Beobachtungen nur einige Tausendstel eines Volts angegeben. Die grössten Werthe wurden mittelst des Capillar-Elektrometers von Gotch und Burch[1]) gefunden, die sogar Beträge von 0,022 und 0,033 Volt angeben.

Nun müssen wir in Betracht ziehen, dass die oben genannten, durch directe Messung gefundenen Werthe von A nicht die wirklich vorhandenen Werthe vorstellen. Weil sich im Nerven selbst eine Anzahl von Nebenschliessungen bildet, wird der durch directe Messung gefundene Werth nur einen Bruchtheil der wirklich vorhandenen elektromotorischen Kraft ausmachen; aber wenn wir die letztere sogar auf das Tausendfache des durch Messung gefundenen Betrages schätzen und also bis auf 33 Volt kommen, erreichen wir nur 1 oder 2 % des Werthes von E. Es darf, wenn nicht für unmöglich, so doch wenigstens für sehr unwahrscheinlich erachtet werden, dass eine derartig grosse Spannung durch den Actionsstrom im Froschischiadicus erzeugt wird.

Dies ist jedoch nicht Alles, denn bekanntlich hat der Actionsstrom einen zeitlichen Verlauf. Als Beispiel führen wir einige Messungen von Gotch und Burch[2]) an. In der Nervenstrecke, von welcher zum Capillar-Elektrometer abgeleitet wurde, wurde 0,0035 Sec. nach dem Anbringen des Reizes das erste Zeichen eines veränderten Potentialunterschiedes beobachtet. Diese Zeit muss mit der Distanz zwischen der Stelle, wo gereizt, und der Stelle, von wo abgeleitet wurde, zusammenhängen.

Erst 0,0060 Sec. nach dem Anbringen des Reizes, also 0,0025 Sec., nachdem die elektrische Welle an der Ableitungsstelle angelangt

---

1) F. Gotch und G. J. Burch, The electrical response of nerve to a single stimulus investigated with the capillary electrometer. Proceedings of the Royal Society of London vol. 63 p. 300. 1898.

2) A. a. O. S. 310, Reihe IV.

war, erreichte sie ihr Maximum. Man hat also genügenden Grund, anzunehmen, dass in der kurzen Zeit von $\frac{1}{1,76 \times 10^6}$ Sec., die zwischen zwei Wechseln des von uns benutzten Wechselstromes verlief, der Actionsstrom des Nerven kaum zur Entwicklung kommen konnte.

Wir gehen jetzt zur Erörterung des Betrages von P über.

Directe Messungen von P sind nicht leicht. Lässt man einen Nerven eine Zeit lang durchströmen, und misst man nach dem Aufhören des Stromes die elektrische Kraft der Polarisation, so findet man zu kleine Werthe, weil die einmal entwickelte Polarisation zu schnell wieder abnimmt und schwindet. Wendet man die Messung mittelst Wechselströme an, so könnte man — wenigstens wenn die Schwingungsfrequenz des Wechselstromes nicht gross ist — wieder zu kleine Werthe zu erhalten fürchten, weil die Polarisation — namentlich im Nerven — schnell entsteht. Doch bestehen wohl Methoden, die auf indirectem Wege den wahren Betrag der Polarisation annähernd ermitteln können.

So berechnet Hermann[1]) aus einer Combination von Beobachtungen, die mittelst seiner „Umlegeversuche“ verrichtet worden waren, und aus den Ergebnissen der Widerstandsmessung nach verschieden langer Durchströmung den Betrag P für einen Nerven schon sehr kurz nach der Stromschliessung[2]) als 3,5 % des angebrachten Potentialunterschiedes. Dieser Betrag wird verringert, je nachdem der Strom kürzer geschlossen bleibt. Als Hermann den scheinbaren Widerstand eines vierfachen Ischiadicus, der während einer kurzen Zeit durch einen constanten Strom durchströmt wurde, mit dem Widerstande gegen einen Wechselstrom von 792 Perioden per Sec. verglich, zeigte sich, dass die Polarisation im Nerven während der Durchströmung mit dem Wechselstrom geringer war. Aber

---

1) L. Hermann, Untersuchungen über die Polarisation der Muskeln und Nerven. Pflüger's Arch. Bd. 42 S. 1. 1888.

2) Anstatt „sehr kurz nach der Stromschliessung“ sagt Hermann, a. a. O. Bd. 42 S. 55, „anfangs“, aber mit diesem Worte ist nicht im mathematischen Sinne der Moment der Stromschliessung selbst gemeint. Die Zeiten werden von Hermann in Minuten angegeben: der Widerstand wurde z. B. 0, 1, 4, 12, 23 und 28 Minuten nach dem Anfange der Durchströmung gemessen. Die Zeit 0 Minute bedeutet hier so viel wie die halbe Dauer eines kurzen Contactes.

Hermann meint, dass sie auch dann noch „keineswegs vollständig eliminirt" werde[1]).

Wir wollen es gerne zugeben: die Elimination ist „keineswegs vollständig". Der Bruchtheil, der übrig bleibt, wird aber noch vielfach verringert, wenn, — wie es bei unseren Versuchen der Fall ist — Wechselströme von mehr als tausendfach grösserer Frequenz — $8{,}8 \times 10^5$ Perioden per Sec. — benutzt werden, sodass wir unter unseren Versuchsbedingungen ohne Bedenken die elektromotorische Kraft der Polarisation P hinsichtlich des Potentialunterschiedes E vernachlässigen dürfen.

Sogar der volle Betrag von 3,5 % könnte die Richtigkeit unserer Schlussfolgerungen nicht beeinträchtigen. Denn wo wir die Erregung durch Schliessung eines constanten Stromes mit der Erregung durch frequente Wechselströme verglichen und dabei Ströme benutzten, deren Intensitäten sich wie 1 : 20000 verhielten, da war ein Fehler in der Stromstärke-Berechnung zum Betrage einiger Procente erlaubt.

In obenstehenden Zeilen haben wir gezeigt, dass bei unseren Versuchen sowohl A wie P sehr klein hinsichtlich E sein müssen, so dass wir ohne einen beachtenswerthen Fehler $E = E - (A + P)$ setzen dürfen. Desto eher darf $\frac{i'_{max}}{i_{max}} = 1$ oder $i'_{max} = i_{max}$ geschrieben werden.

Und hiermit haben wir die Richtigkeit und Genauigkeit unserer Stromstärke-Berechnung, zugleich aber die Unhaltbarkeit der Theorie Hermann's bewiesen.

Die Behauptung Hermann's[2]): „Dass aber am Nerven, selbst bei sehr frequenten Wechselströmen, die Polarisation unter keinen Umständen vernachlässigt werden darf, haben meine Versuche über diesen Gegenstand mit Sicherheit ergeben," ist schwer zu vertheidigen. Die Worte „bei sehr frequenten Wechselströmen" können sich hier nur auf Wechselströme von ungefähr 800 Perioden per Sec. beziehen, die Hermann 1888 bei seinen eigenen Versuchen benutzte, und die man in der Regel jetzt nicht mehr „sehr frequent" nennen wird.

---

1) A. a. O. S. 43.
2) A. a. O. Bd. 83 S. 356.

VII. Schlussfolgerungen.

1. Bei Wechselströmen von rund 200000 Perioden per Secunde übt der Grad der Dämpfung keinen merklichen Einfluss auf die Grösse der erregenden Wirkung aus. Die Erregungsgrösse scheint der Hauptsache nach durch das erste Viertel der ersten Periode bestimmt zu werden.

Obenstehende Behauptung bezieht sich nur auf die minimale Initialzuckung und sagt selbstverständlich nichts aus vom Tetanus, der durch einen ungedämpften Wechselstrom erzeugt werden kann.

2. Keine der bekannten Theorien der Nervenerregung, auch nicht die in letzter Zeit ausführlich entwickelten Theorien Hoorweg's und Hermann's, sind bis jetzt in befriedigende Uebereinstimmung mit den Erscheinungen der Reizung durch frequente Wechselströme gebracht.

VIII. Anhang.

Zu Abschnitt I.

1. Berechnung des logarithmischen Decrements δ und des Dämpfungsverhältnisses D unter der Annahme, dass der Widerstand des Funkens = 0.

$$\delta = \log \text{nat } D.$$

Weiter ist $\delta = \frac{RT}{2L}$, worin R den Widerstand des Ringes oder des Solenoids für den frequenten Wechselstrom, T die Periode und L die Selbstinduction bedeutet.

Der Betrag von R muss berechnet werden. Nach J. J. Thomson[1]) ist der Widerstand eines soliden Drahtes für Wechselströme ebenso gross wie der Widerstand einer Röhre für den constanten Strom, wenn die Röhre von derselben Substanz wie der Draht angefertigt ist, die äussere Peripherie der Röhre mit der äusseren Peripherie des Drahtes zusammenfällt, und die Dicke der Röhrenwand gleich

$$\frac{1}{n_1 \sqrt{2}} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (4).$$

Weiter hat man

$$n_1 = 2\pi \sqrt{\frac{n\mu}{\sigma}} \quad \ldots \ldots \quad (5),$$

1) J. J. Thomson, Notes on recent researches in electricity and magnetism p. 260 and 282. Oxford 1893.

worin n_1 in Centimetern ausgedrückt ist, während n die Periodenzahl per Sec. bedeutet. μ stellt die magnetische Permeabilität und σ den specifischen Widerstand des Leiters in absoluten elektromagnetischen Einheiten vor.

In untenstehende Tabelle X sind die betreffenden Werthe für den messingnen Ring und die beiden kupfernen Solenoide eingetragen:

Tabelle X.

	Messingner Ring	Kupfernes Solenoid von 6 Windungen	Kupfernes Solenoid von 30 Windungen
Drahtdurchmesser	0,5	0,3	0,3 cm
Länge	320	1920	9600,0 cm
σ	8800	1700	1700 (C. G. S.)
$n = \frac{1}{T}$	$8{,}8 \times 10^5$	2×10^5	65700 Perioden per Sec.
μ	1	1	1
L	$3{,}614 \times 10^{-6}$	$7{,}7 \times 10^{-5}$	$71{,}4 \times 10^{-5}$ Henry
n_1	62,8	68,14	39,08
R	0,163	0,345	1,016 Ohm
δ	0,0256	0,0112	0,01084
D	1,026	1,0113	1,0109

2. Die Abnahme der Amplidude in einer gegebenen Zeit.

Die Zeitconstante des gedämpften Wechselstromes ist

$$T = \frac{2L}{R}.$$

Die Zeit, die seit dem Anfange der Entladung verstrichen ist, sei t. Wenn wir weiter $t = aT$ setzen, so ist in der Zeit t die Amplitude der Wellen e^a Mal kleiner geworden.

Aus den beiden obenstehenden Formeln geht hervor, dass

$$a = \frac{t}{T} = \frac{tR}{2L}.$$

In der Zeit t ist also die Amplitude der Wellen bis auf $e^{-\frac{tR}{2L}}$ ihres ursprünglichen Werthes zurückgebracht.

In der nachfolgenden Tabelle XI sind für den Ring und die beiden kupfernen Solenoide die Werthe von $\frac{1}{T}$ und von $e^{-\frac{tR}{2L}}$ für verschiedene Grössen von t angegeben.

Tabelle XI.

	$\frac{1}{T} = \frac{R}{2L}$	$e^{-\frac{tR}{2L}}$		
		für $t = 0{,}0001$	für $t = 0{,}001$	für $t = 0{,}01$
Der Ring	22600	$\frac{1}{9{,}57}$	$\frac{1}{6{,}46 \times 10^9}$	—
Das kupferne Solenoid von 6 Windungen . .	2240	—	$\frac{1}{9{,}38}$	$\frac{1}{5{,}25 \times 10^9}$
Das kupferne Solenoid von 30 Windungen . .	712	—	$\frac{1}{2{,}04}$	$\frac{1}{1230}$

Zu Abschnitt VI.

1. Berechnung des Energiewerthes, der einem Galvanometerausschlag von 1 cm entspricht.

Eine Batterie von Leydener Flaschen, deren Capacität $C_1 = 1{,}235 \times 10^{-9}$ Farad, entladet sich durch zwei neben einander geschaltete Leiter. Der erste Leiter besteht aus einer Rolle, die 224 durch Guttapercha isolirte kupferne Windungen enthält mit einem Gesammtwiderstande $r = 15{,}8$ Ohm und einer Selbstinduction $L_1 = 0{,}0315$ Henry. Der zweite Leiter ist der Zweig $P\,L_2\,C\,L_1\,E\,A$ aus der Wheatstone'schen Combination, siehe Fig. 4. Sein Widerstand beträgt $w = 1928$ Ohm, während seine Selbstinduction vernachlässigt werden darf.

Berechnen wir erst die Impedanz P der Rolle unter der Annahme, dass die Entladung der Leydener Flaschen nur durch die Rolle stattfindet, so ist

$$P = \sqrt{r^2 + (2\pi m L_1)^2},$$

worin m die Periodenzahl per Secunde bedeutet.

$$m = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}, \text{ also } P = \sqrt{r^2 + \frac{L_1}{C_1}}.$$

Weil r^2 hinsichtlich $\frac{L_1}{C_1}$ vernachlässigt werden darf, dürfen wir auch

$$P = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$$

schreiben.

Führt man für L_1 und C_1 ihre oben genannten Werthe ein, so findet man $P = 5050$.

Weil der Widerstand im Zweige $P\,L_2\,C\,L_1\,E\,A$ 1920 Ohm beträgt, muss schon bei der ersten halben Schwingung der grösste Theil der Elektricität durch die Lampen wegfliessen. Ein kleiner Theil strömt durch die Rolle. Der stärkere Strom in Verbindung mit dem mehr als hundertfach grösseren Widerstande im Lampenzweig ist die Ursache, dass hier der Energieverlust so gross ist, dass man demgegenüber den Energieverlust in der Rolle ohne Bedenken vernachlässigen darf.

Bei einer Funkenlänge = 0,53 mm gab das Galvanometer der Wheatstone'schen Combination einen Ausschlag von durchschnittlich 90,8 cm. Für eine Distanz = 2,12 mm zwischen den Kugeln des Funkenmikrometers ist der Potentialunterschied $\frac{8730}{3026} = 2{,}883$ fach grösser[1]). Der Galvanometerausschlag für 2,12 mm Funkenlänge muss also unter der Annahme, dass die Ausschläge immer den Energiemengen proportional bleiben, auf $90{,}8 \times 2{,}883^2 = 756$ cm berechnet werden.

Bei der Messung wurde in der Wheatstone'schen Combination (siehe Fig. 4) bei B nur ein Accumulator angewendet, während bei den früheren Messungen mit den Solenoiden 4 Accumulatoren hinter einander geschaltet waren. Specielle Versuche zeigten, dass im letzteren Fall die Galvanometerausschläge genau vier Mal grösser waren. Für einen Strom mit 4 Accumulatoren muss der Galvanometerausschlag unter derselben Annahme der Proportionalität also auf $4 \times 756 = 3024$ cm berechnet werden.

Die Energie, die diesem Ausschlage entspricht, d. h. die gesammte Energie, die in der Batterie von Leydener Flaschen angehäuft war, wird durch die Formel $A = \frac{E_0^2\,C_1}{2}$ ausgedrückt, worin E_0, zum Betrage von 8730 Volt, den Potentialunterschied für eine Funkenlänge = 2,12 mm bedeutet. Hieraus wird der Energiewerth von 1 cm Galvanometerausschlag als

$$A_1 = \frac{A}{3024} = E_0^2 \times 2{,}04 \times 10^{-13} \text{ Joules} \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

berechnet.

---

1) Berechnet nach F. Paschen, Wiedemann's Annalen Bd. 37 S. 79. 1889. Der Durchmesser der Kugeln des Funkenmikrometers betrug 1 cm.

2. **Allgemeine Bedingungen zur Berechnung der Dämpfung.**

Eine Batterie von Leydener Flaschen entladet sich durch ein metallenes Solenoid. Vom Hauptstrom im Solenoid wird ein Nebenstrom abgeleitet, der so schwach ist, dass der Einfluss des letzteren auf den ersteren vernachlässigt werden darf. Im Kreise des abgeleiteten Stromes ist ein grosser Widerstand w vorhanden, während dessen Selbstinduction $= 0$ angenommen werden darf.

C sei die Capacität der Batterie von Leydener Flaschen,
R sei der gesammte Widerstand des Hauptstroms, d. h. also die Summe der Widerstände des Solenoiddrahtes und des Funkens,
L sei die Selbstinduction des Solenoids,
E_0 die ursprüngliche Spannung zwischen den Endpunkten,
$\beta = \frac{2\pi}{T}$, wenn T die Periode bedeutet.

Nach den Gesetzen der gedämpften Schwingungen ist

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

Weiter sei $\frac{R}{L} = p$; das logarithmische Decrement heisse δ, und das Dämpfungsverhältniss heisse D.

Die Spannung E an den Endpunkten in der Zeit t wird durch die Formel

$$E = E_0\, e^{-\frac{Rt}{2L}} \left\{\cos\beta t + \frac{R}{2\beta L}\sin\beta t\right\}$$

vorgestellt.

Die Energie des abgeleiteten Stromes ist

$$A_2 = \Sigma \frac{E^2}{w}\, dt,$$

also

$$A_2 = \frac{E_0^2}{w}\int_0^\infty e^{-pt}\left\{\cos\beta t + \frac{p}{2\beta}\sin\beta t\right\}^2 dt.$$

Berechnet man das Integral, und führt man dann die Werthe von p und β ein, so findet man

$$A_2 = \frac{E_0^2}{w} \times \frac{L + CR^2}{2R} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (7).$$

Für einen *wenig* gedämpften Wechselstrom darf CR^2 im Ausdrucke $L + CR^2$ vernachlässigt werden, so dass unter diesen Bedingungen (d. h. bei sehr kleinem R) A_2 dem $\frac{E_0^2}{w} \times \frac{L}{2R}$ gleich ist.

Man sieht also, dass die Energie des abgeleiteten Stromes proportional ist der Zeitconstante, $\frac{2L}{R}$, des Hauptstromes. Weil das logarithmische Decrement $\delta = \frac{RT}{2L}$ ist, ist diese Energie bei gleicher Schwingungsfrequenz auch dem $\frac{1}{\delta}$ proportional.

Es fällt nicht schwer, zu beweisen, dass, wenn die Batterie von Leydener Flaschen sich mit einer aperiodischen Elektricitätsbewegung entladet, wenn also R sehr gross ist und L vernachlässigt werden darf, die Energie des abgeleiteten Stromes wieder der Zeitconstante (RC) proportional ist. Selbstverständlich muss hierbei immer angenommen werden, dass w dem R gegenüber so gross ist, dass der abgeleitete Strom so gut wie keine Veränderung im Hauptstrom veranlasst.

Wir sehen also, dass die Proportionalität zwischen der Energie des abgeleiteten Stromes und der Zeitconstante des Hauptstromes Gültigkeit hat sowohl für den Fall, dass $L = 0$ und R gross ist, wie auch für das andere Aeusserste, wenn L sehr gross und R klein ist. Nur in den zwischenliegenden Fällen trifft die Proportionalität nicht zu. Wir müssen für diese Fälle R aus der Gleichung (7) lösen:

$$A_2 = \frac{E_0^2}{w} \times \frac{L + CR^2}{2R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

und finden

$$R = \frac{\frac{2 A_2 w}{E_0^2} - \sqrt{\frac{4 A_2^2 w^2}{E_0^4} - 4 CL}}{2C} \quad . \quad . \quad . \quad (8).$$

Die Werthe von δ und D werden dann aus den Formeln

$$\delta = \frac{RT}{2L} \text{ und } \log \operatorname{nat} D = \delta$$

gefunden.

3. Specielle Berechnung der Widerstände R und der Werthe δ und D.

Wie in Abschnitt IV erwähnt wurde, war bei einer Funkenlänge $= 2{,}12$ mm, d. h. $E_0 = 8730$ Volt, und bei Stromableitung von $PA = 80$ cm ($^1/_{24}$ Theil des Solenoiddrahtes), der Galvanometerausschlag

für Solenoid I	. . . . . .	53,7 cm
„ „ II	. . . . . .	47,6 „
„ „ III	. . . . . .	15,49 „
„ „ IV	. . . . . .	8,13 „

Für die Stromableitung von den Drahtenden des Solenoids müssen die Galvanometerausschläge als 24^2 Mal grösser berechnet werden, wobei angenommen wird, dass die Galvanometerausschläge immer der Energie des durchgeführten Stromes proportional bleiben. Wir wollen die auf diese Weise berechneten Galvanometerausschläge bei der Einschaltung der vier verschiedenen Solenoide resp. g_I, g_{II}, g_{III}, g_{IV} nennen.

Nach Formel (8) ist

$$R = \frac{\frac{2 A_2 w}{E_0^2} - \sqrt{\frac{4 A_2^2 w^2}{E_0^4} - 4 C L}}{2 C} \quad . \ . \ . \quad (8).$$

Weiter hat man

$$A_2 = g A_1, \text{ während nach (6) } A_1 = E_0^2 \times 2{,}04 \times 10^{-13}.$$

Hieraus ergibt sich, dass

$$R = \frac{4{,}08 \times 10^{-13}\, wg - \sqrt{(4{,}08 \times 10^{-13}\, wg)^2 - 4 CL}}{2 C} \quad (9).$$

In obenstehender Formel (9) ist $w = 1928$ Ohm

$C = 6{,}55 \times 10^{-9}$ Farad,

$L = 7{,}7 \times 10^{-5}$ Henry,

während für g die schon erwähnten Werthe von g_I, g_{II}, g_{III} und g_{IV} eingeführt werden müssen.

Für die Berechnung des logarithmischen Decrementes δ und des Dämpfungsverhältnisses D nach den schon erörterten Formeln muss noch der Betrag der Periode T bekannt sein.

$$T = \frac{1}{2{,}3 \times 10^5} \text{ Sec.}$$

In Tabelle XII sind die nach Obenstehendem berechneten Werthe R, δ und D für die vier Solenoide eingetragen.

Tabelle XII.

	R	δ	D
Solenoid I	3,165	0,0895	1,0936
„ II	3,576	0,1010	1,1063
„ III	11,09	0,3139	1,3688
„ IV	21,76	0,615	1,8497

Wenn ausser dem Gesammtwiderstande R noch der Widerstand R' des Solenoiddrahtes bekannt ist, kann der Funkenwiderstand R'' leicht berechnet werden, denn $R = R' + R''$.

Nun kann jedoch der Widerstand des Solenoiddrahtes für frequente Wechselströme nicht unmittelbar gemessen werden. Man muss, um ihn kennen zu lernen, seine Zuflucht zu einer Berechnung nach den Thomson'schen Formeln nehmen, siehe Anhang zu Capitel I. Dabei muss für die magnetische Permeabilität μ des Drahtes ein gewisser Betrag angenommen werden, was zwar für Kupferdraht leicht geschehen kann, für Eisendraht jedoch zu grossen Schwierigkeiten Anlass gibt.

Am genauesten wird der Funkenwiderstand bekannt, wenn dieser selbst im Verhältniss zum Widerstande des Solenoiddrahtes sehr gross ist und man also den gesammten Widerstand R nahezu ganz als Funkenwiderstand betrachten darf. Dieser Fall trifft beim kupfernen Solenoid I zu.

Für R_I wurde gefunden . . . . 3,165 Ohm
für R'_I wird bei der Schwingungsfrequenz von $2{,}3 \times 10^5$ Perioden per Secunde berechnet . . . . 0,374 „
Also $R''_I = R_I - R'_I = 2{,}791$ Ohm.

Einen gewissen Betrag für μ des eisernen Solenoiddrahtes IV zu bestimmen ist sehr schwierig. J. J. Thomson gibt als eine Art Rechenbeispiels die Zahl 1000 an. Diesem Beispiele folgend berechnete ich für R'_{IV} den enormen Betrag 165 Ohm[1]). Weil die Messungen jetzt aber ausgemacht haben, dass für das eiserne Solenoid der gesammte Widerstand $R_{IV} = 21{,}76$ Ohm und der Widerstand des Solenoiddrahtes also kleiner als dieser letztere Betrag ist, muss für μ offenbar ein viel geringerer Werth als 1000 angenommen werden. Dies wird durch die grosse Intensität der Entladungsströme und den kurzen, breiten Weg, den die magnetischen Kraftlinien durch den Eisendraht nehmen, auf einfache Weise erklärt.

Schliesslich erlaube ich mir, auf das eigenthümliche Verhalten der Funkenphotogramme hinzuweisen. In allen Photogrammen ist ohne Ausnahme, wie schon in Abschnitt III erwähnt wurde, der erste Strich sehr kräftig, während der zweite und alle weiteren Striche viel schwächer sind. Der Unterschied der Lichtintensität zwischen

1) Siehe Feestbundel, Dr. Sape Talma aangeboden. Haarlem, De Erven Bohn 1901.

dem ersten und dem zweiten Strich ist viel grösser als zwischen allen folgenden Strichen, und man überzeugt sich leicht davon, dass die allmähliche und regelmässige Schwächung des Funkens erst beim zweiten Strich anfängt.

Diesem Umstande muss es zugeschrieben werden, dass, obgleich das Dämpfungsverhältniss D_{IV} beim eisernen Solenoid = 1,8 ist, das bezügliche Funkenphotogramm doch nicht mehr als zwei Striche zeigt.

Erklärung

zu L. Hermann's Jahresbericht der Physiologie 1901, betreffs der reflectorischen negativen Schwankung.

Von

J. Bernstein.

Wiederum bin ich genöthigt, gegen die Art und Weise, in welcher L. Hermann über unseren Streit betreffs der reflectorischen negativen Schwankung in dem Jahresbericht der Physiologie 1901 S. 45 referirt, Verwahrung einzulegen. Nachdem Hermann in einer Replik, betitelt: „Mein letztes Wort zu J. Bernstein's wiederholten Angriffen“ [1]), geantwortet hatte, schreibt er jetzt: „Referent, welcher dem Angreifer das letzte Wort gelassen hatte, erklärt hier, dass er in der That sehr gern die letzten Ausflüchte des Angreifers dem Urtheil der Sachverständigen überlässt.“

Jeder billig denkende Leser wird zugeben, dass dieser Satz in dem Ausdruck „Ausflüchte des Angreifers“ einen Angriff gegen meine Person enthält; denn Ausflüchte kann man nur Demjenigen vorwerfen, welcher etwas Unrechtes begangen hat und es zu verhüllen sucht.

Damit hat es sich in der That bewahrheitet, was ich schon früher ausgesprochen habe, dass es schwer ist, einem Gegner wie Hermann gegenüber das letzte Wort zu behalten, und mit Bestimmtheit konnte ich voraussehen, dass sein „letztes Wort“ doch noch nicht sein allerletztes Wort sein werde. Und dabei brüstet er sich noch mit der Grossmuth, dass er mir das letzte Wort gelassen habe! Meint denn etwa Hermann, dass er sich nur für dieses Archiv zum letzten Wort in unserer Streitsache verpflichtet habe, und dass diese Verpflichtung für den Jahresbericht nicht gelte? Oder glaubt er etwa, dass er als Herausgeber und Referent des Jahresberichts nicht an das gebunden sei, was er als Autor in diesem Archiv veröffentlicht hat?

1) Dieses Archiv Bd. 82 S. 409.

Selbstverständlich würde ich nichts dagegen einzuwenden haben, wenn Hermann sich darauf beschränkt hätte, objectiv und unparteiisch über meine letzte Publication in dieser Sache zu berichten, welchem Zwecke ein blosser Literaturhinweis genügt hätte. Dagegen aber muss ich entschieden Einspruch erheben, dass Hermann in dem Jahresbericht nicht nur wiederholt seinen unbegründeten Prioritätsanspruch erhebt, sondern seine Stellung als Herausgeber sogar dazu gebraucht, um gegen mich einen persönlichen Angriff zu richten, den kein Herausgeber einem anderen Referenten in einem Jahresbericht gestatten würde, und gegen den ich mich nicht an gleichem Orte mit gleichen Waffen vertheidigen kann. So ungerechte Mittel beweisen hinlänglich, dass Hermann gegen meine sachlichen Ausführungen nichts Sachliches mehr vorzubringen weiss.

Ueber Resonanztöne, erzeugt durch Annäherung von Flächen an die Ohrmuschel.

Von

Victor Urbantschitsch in Wien.

Wenn man bei einem Geräusche, wie Brausen des Windes, Strassen- oder Maschinenlärm, Wasserrauschen, 2 Flächen, z. B. die beiden Hände, den Seitentheilen des Kopfes ganz nahe den beiden Ohrmuscheln ansetzt, so treten, je nach der Stellung dieser beiden Flächen zu den Ohrmuscheln, bald höhere, bald tiefere Töne aus dem Geräusche stärker hervor. Befinden sich die beiden Flächen knapp vor den Ohrmuscheln senkrecht zu den Seitentheilen des Kopfes, so treten tiefere Töne des Geräusches deutlich hervor; werden die Flächen bei sonst gleicher Stellung knapp hinter die Ohrmuscheln gebracht, so machen sich höhere Töne auffällig bemerkbar, die mit den früher erwähnten tieferen Tönen gewöhnlich die höhere Terz bilden. Sind die beiden Flächen dagegen den Seitentheilen des Kopfes parallel gestellt nahe dem Ohreingange, so erscheinen nunmehr noch höhere Töne verstärkt, die mit den hohen Tönen bei Stellung der Flächen hinter der Ohrmuschel in der Regel abermals die höhere Terz bilden, also mit der erstangeführten Stellung der Flächen vor den Ohrmuscheln, eine Quinte. Bei Ueberdachung der Ohrmuscheln durch die beiden den Ohrmuscheln knapp anliegenden Flächen erfolgt eine ähnliche, jedoch geringere Verstärkung der tiefen Töne, wie beim Ansetzen der Flächen vor den Ohrmuscheln; beim Ansetzen der Flächen knapp unterhalb der Ohrmuscheln zeigt sich eine schwache Verstärkung der Töne der höheren Terz, also dieselbe Tonhöhe wie beim Ansetzen der Flächen knapp hinter den Ohrmuscheln.

Die angegebene Verstärkung der Töne, besonders beim Ansetzen der Flächen vor, hinter und parallel den Ohrmuscheln ist bei einem stärkeren Geräusche sehr auffallend, und zwar erscheint dabei das Geräusch plötzlich bedeutend vermehrt. Man erhält den Ein-

druck, als ob beispielsweise das Rauschen des Windes oder des Wassers plötzlich beträchtlich zunähme. Ein schwaches Geräusch kann zuweilen erst bei dem hier angegebenen Versuche überhaupt bemerkbar werden.

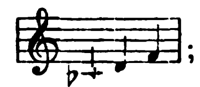
Bei äusserer Stille treten keinerlei derartige Erscheinungen auf.

Um diese Resonanzerscheinungen auffallender hervortreten zu lassen, empfiehlt es sich, die beiden Flächen den Ohren öfters hinter einander rasch zu nähern und von diesen wieder zu entfernen. Grössere Flächen ergeben stärkere Resonanzerscheinungen als kleinere Flächen, doch genügen auch die beiden Handflächen für diese Versuche. Mit der zunehmenden Grösse der Fläche erfolgt eine zunehmende Vertiefung der Resonanztöne.

Bei den mit einem Ohr angestellten Versuchen treten die angeführten Resonanzerscheinungen undeutlicher hervor als bei gleichzeitig an beiden Ohren vorgenommenen Versuchen.

Als Beispiel mögen folgende dienen:

1. Die beiden Handflächen (die Handfläche 16 cm lang und 9 cm breit) ergaben bei Stellung der beiden Flächen knapp vor, parallel und hinter den Ohrmuscheln:



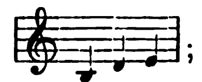
2 Platten, jede Platte 15 cm lang und 11 cm breit:



2. Die beiden 16 cm langen und 9 cm breiten Handflächen, wieder wie früher zuerst knapp vor den Ohrmuscheln, dann diesen parallel, zuletzt hinter den Ohrmuscheln aufgestellt, ergaben als Resonanztöne:



2 Flächen 15 cm lang und 11 cm breit:



2 Flächen, 21 cm lang und 12 cm breit:



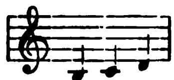
3. Ein gleich danach mit den angegebenen 3 verschiedenen Flächen angestellter Versuch ergibt während des zu dem Strassenlärm hinzutretenden Windgeräusches:



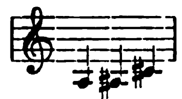
4. Bei einem Versuche mit dem Rauschen des Windes fanden sich folgende Töne:



(Hand, 16 cm lang, 9 cm breit);

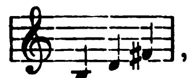


(Fläche, 15 cm lang, 11 cm breit);



(Fläche, 21 cm lang, 12 cm breit).

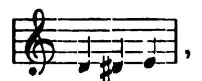
5. Das Rauschen des Wassers ergab für Platten von 15 cm Länge und 11 cm Breite:



für 21 cm lange und 12 cm breite Platten:



6. Das Geräusch eines Inductionsapparates, bei dem eine bestimmte Klangfarbe stark hervortrat, zeigt:



also nur Tonunterschiede von $^1/_8$ Ton. Dabei bestand für verschieden grosse Platten keine nennenswerthe Tonverschiedenheit, so dass sich die erwähnten Töne *d*, *dis* und *e* sowohl bei Benutzung der Handflächen als auch von Platten mit 15 cm Länge, 11 cm Breite und von 21 cm Länge, 12 cm Breite als Resonanztöne bemerkbar machten.

Bei gleichzeitig vorhandenen verschiedenartigen Geräuschen treten, je nachdem man dem einen oder anderen Geräusche die

Aufmerksamkeit zuwendet, verschiedene Resonanztöne auffallend hervor.

Befinden sich die beiden Flächen nicht knapp an den Ohren, sondern in einiger Entfernung davon, so erfolgt eine Tonverstärkung im Verhältniss zum grösseren Abstande von den Ohrmuscheln für immer tiefere Töne. Bei dem Componisten Herrn Prof. Grädener, der sich derartigen Versuchen freundlichst unterzog, ergaben zwei Flächen von 26 cm Höhe und 16 cm Breite, knapp an die Ohrmuscheln, diesen parallel, gehalten als Resonanzton des Strassenlärmes



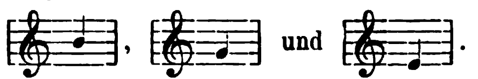
bei gleicher paralleler Stellung zu den Ohrmuscheln, aber von diesen 9 cm entfernt,

bei Entfernung von 18 cm



demnach bei 9 cm und 18 cm die tiefere Terz und die tiefere Quinte.

Ein zweiter Versuch mit kleineren Flächen zeigt bei gleicher Versuchsanordnung:



Bei einer Verschiebung der vor oder hinter den Ohrmuscheln befindlichen Flächen von den Ohrmuscheln hinweg erfolgt in ähnlicher Weise wie bei den früher erwähnten Versuchen eine entsprechend zunehmende Vertiefung des Resonanztones oder wieder umgekehrt eine Erhöhung des Resonanztones, bei der Annäherung an die Ohrmuscheln.

Eine Abhängigkeit der Tiefe des Resonanztones von der Länge der resonirenden Luftsäule zeigt sich ja bekannter Maassen auch bei verschieden hohen an's Ohr gehaltenen Gefässen, die einen um so tieferen Resonanzton ergeben, je höher das Gefäss, also die eingeschlossene Luftsäule ist.

So erscheint auch das Muschelgeräusch beim Anlegen verschiedener Muscheln an das Ohr um so tiefer, je grösser die Muschelhöhe, dem zu Folge je länger die resonirende Luftsäule ist; ausserdem hängt dabei die Tonhöhe der Resonanztöne von der Qualität der Schallquelle ab. Versuche, die ich hierüber mit zwei gleichgrossen Muscheln

(in einer Breite von 5 cm und einer Höhe von 8 cm) anstellte, ergaben Folgendes:

1. Während des Einwirkens von Strassenlärm trat beim Anlegen beider Muscheln an die Ohren



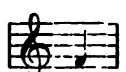
auffällig hervor, beim Abheben beider Muscheln von den Ohren die tiefere Quart *es*.

2. Das Wasserrauschen zeigte



beim Anlegen der Muscheln an die Ohren, nach deren Wegnahme die tiefere Quinte *c*.

3. Das Ticken einer Pendeluhr fand bei angelegten Muscheln in

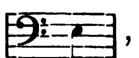


statt, ohne Muscheln in der tieferen, reinen Quint in *b*. Wenn ich bei vollständiger äusserer Stille die beiden Muscheln an die Ohren drücke, so bemerke ich nur beim Anlegen ein Reibegeräusch, dann aber beim ruhigen Halten der Muscheln kein Geräusch, so auch kein Gefäss- oder Muskelgeräusch. Lasse ich nun den Pendelschlag der Uhr einwirken, so tönt bei mir jeder Schlag dumpf in der Muschel, als ob er von der Muschel selbst ausginge; dabei ist jeder Pendelschlag von einem kurzen Nachgeräusche begleitet.

4. Beim festen Andrücken zweier Muscheln (von 7 cm Länge und 5 cm Höhe) an beiden Ohren erschienen tiefe Harmoniumtöne von der Octave der höheren Quinte des Prüfungstones begleitet. Bei Herrn Prof. Grädener trat diese Erscheinung in besonderer Deutlichkeit auf. So wurde beispielsweise mit dem Harmoniumton



Beim schwachen Lüften der den Ohren sonst stark angedrückten Muscheln machte sich die Terz der zweithöheren Octave bemerkbar, also beispielsweise bei

,

bei festem Andrücken



bei lose anliegenden Muscheln



Auch bei Versuchen mit Trinkgläsern verschiedener Höhe wurde beim Anpressen je zweier gleichgrosser Gläser an die Ohren nebst dem Harmoniumton die Octave der höheren Quinte gehört.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Königsberg i. Pr.)

Kurvenanalyse und Fehlerrechnung.

Von

L. Hermann.

Auf E. Lindelöf's letzte Ausführungen[1]) über Pipping's vermeintliche Kontrolle seiner Kurvenmessungen erwidere ich in aller Kürze Folgendes.

Die n Ordinatenmessungen sind, wenn man die Kurve durch eine Fourier'sche Reihe darstellen will, als n indirekte Bestimmungen der n Amplituden (Konstanten) dieser Reihe anzusehen. Wenn man nun aus irgend einem Grunde annimmt, dass von diesen Konstanten die m ersten der richtigen Kurve bereits voll Genüge leisten, so können die übrigen nur auf Beobachtungsfehlern beruhen, und es ist dann, da mehr Gleichungen als Unbekannte vorliegen[2]), allerdings das mittlere Quadrat dieser Beobachtungsfehler $\varepsilon^2 = \Sigma\delta_i^2/(n-m)$. Dies hatte ich selbst schon in meiner ersten Veröffentlichung[3]) zugegeben, und es war dazu die umständliche Lindelöf'sche Rechnung gänzlich unnöthig[4]). Jeder musste vermuthen,

1) Dies Archiv Bd. 87 S. 597. 1901.

2) Nur dies, und nicht, wie mir Lindelöf, wenn ich ihn richtig verstehe, unterstellt (S. 600), gleiche Präzision der Messungen, hatte ich als Bedingung für die Berechnung der Beobachtungsfehler hingestellt. Ich habe nur von vergleichbarer Präzision gesprochen, um anzudeuten, dass für das Resultat auch die relative Präzision der Einzelmessungen in Betracht kommt, welche, wie auch Lindelöf zugiebt (S. 607), in unserem Falle verschieden ist.

3) Dies Archiv Bd. 83 S. 35f. 1900.

4) Bekanntlich ist nach der Methode der kleinsten Quadrate $\varepsilon^2 = \Sigma x^2/(n-m)$, worin Σx^2 die Summe derjenigen Fehlerquadrate bedeutet, welche auf Grund der wahrscheinlichsten Werthe der m Konstanten sich herausstellen. Diese wahrscheinlichsten Werthe sind aber, wie Bessel gezeigt hat (Astronom. Nachrichten Bd. 6 S. 333. 1828), eben die gefundenen, obwohl sie, vermöge der Eigenschaften der Fourier'schen Reihen, ihre Grösse nicht ändern, wenn m grösser wird und selbst n erreicht. Für Σx^2 ist also in unserm Falle $\Sigma\delta_i^2$ einzusetzen.

dass Lindelöf mit derselben irgend etwas Neues sagen wollte, und daher kam es, dass ich gegen dieselbe eine Anzahl Einwände erhoben habe, welche hinfällig werden, wenn, wie sich nun herausstellt, die ganze Rechnung nur Bekanntes auf eine neue Art beweist. Denn der Ersatz des Zeichens = durch < ist ebenfalls selbstverständlich, wenn man der Möglichkeit Rechnung tragen will, dass die weggelassenen Konstanten nicht ganz ausschliesslich Beobachtungsfehlern ihr Dasein verdanken.

Die streitige Frage ist also nur die, ob man wirklich berechtigt ist, mit Lindelöf die übrigen Konstanten auf Beobachtungsfehler zu beziehen, sobald bei der Analyse die Konstanten anfangen relativ klein zu werden und nicht mehr entschieden abnehmen. Ich bestreite dies nach wie vor. Man mag eine Vokalkurve noch so genau messen, stets wird sie auch Konstanten hoher Ordnungszahlen, wenn auch von geringer Grösse aufweisen, und noch so ungenau, stets wird sie das zeigen und unter Umständen zeigen müssen[1]), was Lindelöf als Konvergenz bezeichnet und besonders an Pipping's Kurven und Analysen bewundert. Der vollständige Mangel aller Partialschwingungen von höherer Ordnungszahl muss bei einer nicht theoretisch konstruirten, sondern von einem so verwickelten Apparat wie das Sprachorgan und der die Sprachlaute registrirende Apparat gelieferten Kurve gradezu als eine seltene und unwahrscheinliche Ausnahme bezeichnet werden, da er Bedingungen von idealer Einfachheit voraussetzt. Wenn es auch in der Mehrzahl der Fälle erlaubt sein wird, diese schwachen hohen Partialschwingungen als vermuthlich unwesentlich zu betrachten, weil sie von unkontrollirbaren und oft zufälligen Nebenumständen herrühren, so hat man doch nicht das mindeste Recht, sie zu den Beobachtungsfehlern zu zählen oder gar mit Lindelöf und Pipping auf Messungsfehler zu beziehen, besonders in Untersuchungen, welche über die Natur der Sprachlaute erst Aufschluss geben sollen.

Die vermeintliche Kontrolle beruht also auf der ungerechtfertigten Hypothese, dass eine richtige Vokalkurve durch eine beschränkte Anzahl harmonischer Partialschwingungen darstellbar sein müsse. Wie man sich erinnern wird, habe ich auf Grund meiner Vokalkurven behauptet, dass der Vokalformant zur Stimmnote unharmonisch sein kann und meistens ist, und gezeigt, dass auch eine Periode mit

1) Vgl. dies Archiv Bd. 86 S. 100. 1901.

einem unharmonischen Bestandtheil stets durch eine sehr konvergente Fourier'sche Reihe darstellbar ist[1]). Die kleinen Glieder höherer Ordnung sind dann sehr wesentlich, und es wäre völlig unrichtig und willkürlich, sie von Beobachtungsfehlern herzuleiten. Letzteres ist stets nur dann erlaubt, wenn, wie z. B. bei einer Planetenbahn, über die Gestalt der Kurve eine sichere Theorie vorliegt; aber selbst hier wird ein Astronom, wenn die aus der Methode der kleinsten Quadrate sich ergebenden Beobachtungsfehler grösser sind als die ihm aus der Kenntniss seiner Instrumente bekannten, die Theorie für unzureichend erklären, d. h. nach störenden Einflüssen forschen.

Lindelöf und Pipping thun so, als wenn die Genauigkeit der Messungen, welche natürlich, hier so gut wie bei allen anderen physikalischen Aufgaben, die Grundlage für alles Theoretische sein muss, bei Vokalkurven gar nicht anders oder wenigstens nicht einfacher oder sicherer festgestellt werden könnte als auf dem eigenthümlichen Umwege der Analyse. Jeder Messende kennt doch seine Beobachtungsmittel und weiss mit Bestimmtheit anzugeben, bis auf welchen Betrag seine Messungsresultate zuverlässig sind. Und will er sich dabei nicht beruhigen, so steht ihm das ausgezeichnete und einwandfreie Mittel zur Verfügung, dieselben Grössen wiederholt zu messen, und nach der Methode der kleinsten Quadrate den mittleren oder den wahrscheinlichen Fehler zu berechnen. Pipping hat anscheinend nicht einmal festgestellt, ob sein angebliches ε ungefähr übereinstimmt mit dem ihm direkt bekannten mittleren Messungsfehler. Da ich nicht den mindesten Grund habe, ihm ungenaues Messen zuzutrauen, so glaube ich sogar, dass sein mittlerer Fehler meist viel kleiner war, als er ε fand. Unter den etwa 240 Analysen seiner letzten Veröffentlichung[2]) liegt ε zwischen 0,3 und 2,6 kleinsten Ablesungseinheiten (r zwischen 0,2 und 1,76), und zwar in 50 Fällen über 1,0, in 11 Fällen über 1,5, und diese Werthe sind sogar noch mit einer beträchtlichen Unsicherheit behaftet[3]). Dies wäre eine recht mässige

---

1) Dies Archiv Bd. 48 S. 186 f. 1891, Bd. 53 S. 46 ff. 1892.

2) Zur Phonetik der finnischen Sprache. Helsingfors 1899. S. 55—132. (Mém. de la soc. finno-ougrienne t. 14.)

3) Nach einer auch von Lindelöf wiederholten Berechnung von Gauss ist der mittlere Fehler des auf die angegebene Weise gefundenen ε^2: $\sqrt{\frac{2}{n-m}}\,\varepsilon^2$. Da bei Pipping die Grösse $n-m$ zwischen 39 und 11 liegt, so beträgt der mittlere Fehler von ε^2 0,226 bis 0,426 seines Werthes.

Genauigkeit. Wenn Pipping wirklich seiner Kontrolle ernstere Bedeutung zuschreibt, so hätte man doch erwarten dürfen, dass er einen Theil der Messungen beanstande, wovon indess keine Rede ist. Warum rühmt er sich also seiner Kontrolle als eines Beweises für besondere Zuverlässigkeit seiner Messungen im Gegensatz zu denjenigen Anderer[1])?

Der einzig richtige Weg ist also der von Bessel vor 74 Jahren vorgeschriebene[2]). Ausser dem schon in meinem vorigen Aufsatz citirten Satz (der sich keineswegs, wie Lindelöf sich ausdrückt, auf Fälle bezieht, die Bessel „vorgeschwebt" haben), giebt er ausdrücklich den Rath (S. 339), die Analyse dann abzubrechen, wenn der Fehlerrest ($\Sigma \delta_i^2$) so klein geworden ist, dass man ihn „Fehlern der Beobachtungen zuschreiben zu dürfen glaubt". Auch führt er ein Beispiel an (Analyse einer Jahreskurve der Temperatur), in welchem er die Analyse beim 4. Gliede abbricht und gar nicht daran denkt, mittels der ihm sicher bekannten Gleichung $\varepsilon^2 < \Sigma \delta_i^2 / (n-m)$ einen Rückschluss auf die Beobachtungsfehler zu ziehen; vielmehr setzt er voraus, dass man diese von vornherein und weit sicherer kennt.

Dies letztere wird allgemein in allen analogen Fällen angenommen. Wenn z. B. die Abhängigkeit einer physikalischen Grösse von der Temperatur t durch einen Ausdruck von der Form $a + bt + ct^2 + \ldots$ darzustellen ist, so versucht man bekanntlich erst, ob die beiden ersten Glieder genügen; hat man aus mehr als 2 Beobachtungen die wahrscheinlichsten Werthe von a und b und den aus ihnen sich ergebenden wahrscheinlichen Fehler der Beobachtungen ermittelt, so nimmt man das dritte und eventuell noch weitere Glieder hinzu, so lange die berechneten Beobachtungsfehler grösser sind als die wirklichen, anderweitig bekannten.

Es kommt nun noch hinzu, dass bei den Vokalanalysen die Messungsfehler unendlich weniger zu fürchten sind, als die Fehler der Registrirung. Jene haben höchstens auf die letzte Dezimale der Konstanten einigen Einfluss (die Ungenauigkeit der Konstanten ist nach Lindelöf für $n = 48$ etwa $1/5$ derjenigen des Messungsfehlers). Jeder Sachkenner weiss aber, dass wir vorläufig weniger die genauen numerischen Werthe der Konstanten suchen, als die relative Prominenz derselben über die benachbarten.

1) Zeitschr. f. Biol. Bd. 31 S. 550.

2) Astronom. Nachrichten Bd. 6 S. 333. 1828.

Aber, wie schon das vorige Mal bemerkt, das von Lindelöf und Pipping ermittelte ε ist bestenfalls der mittlere Beobachtungsfehler, und nicht, wie sie völlig willkürlich behaupten, der mittlere Messungsfehler, da nur eine einzige Messung der Kurve vorliegt; d. h. dieses ε kann mit genau gleichem Rechte auf Fehler der Schreibung oder sonstige physikalische Umstände bezogen werden, denn auch die Schreibung gehört zur Beobachtung. ε ist nun einmal nichts anderes als die mittlere Abweichung der der Analyse zu Grunde gelegten Ordinatenwerthe von denjenigen des wirklichen der Beobachtung unterzogenen Vorganges, d. h. des zeitlichen Ablaufes der durch den Sprachlaut hervorgebrachten Luftdruckschwankung, soweit diese Abweichungen vom Zufall und nicht von konstanten Fehlern herrühren. Hierher würden nicht bloss Schlotterungen in den Axenlagern, sondern auch Durchbiegungen vermeintlich starrer Hebel, Reibung, Trägheit und vieles andere gehören[1]). Lindelöf sucht vergebens (S. 612 f.) diesen schwer wiegenden Einwand zu entkräften, weil selbstverständlich ein Rückschluss aus der Analyse auf die Mängel des Registrirapparates absurd wäre. Aber er ist doch nur eine unerbittliche Konsequenz aus dem Unternehmen, über die Richtigkeit oder Genauigkeit einer einmal gewonnenen und einmal gemessenen Naturkurve, d. h. einer Reihe von einander unabhängiger Naturgrössen, rechnerisch etwas Sicheres zu ermitteln. Das kann keine Mathematik der Welt.

1) Bei meinen eigenen Versuchen sind, beiläufig bemerkt, diese Fehler weniger zu fürchten. Die Richtigkeit der glyphischen Kurve kann jeden Augenblick durch Abhören des Phonographen kontrollirt werden, und die Uebertragung derselben in eine graphische geschieht wesentlich durch einen langen Lichtstrahl, d. h. einen masse- und reibungslosen, unbiegsamen Hebel. Alle direkten mechanischen Kurvenaufnahmen lassen mehr Befürchtungen hinsichtlich der Treue zu.

(Aus dem Laboratorium für exp. Pathologie des Prof. Dr. S. v. Basch in Wien.)

Weitere Untersuchungen über die Innervation der Blase und der Harnröhre.

Von

Prof. Dr. **M. v. Zeissl** in Wien.

(Mit 1 Textfigur.)

In meiner zweiten Arbeit über die Blaseninnervation, welche 1894 im 45. Bande dieses Archives erschien, habe ich über den Einfluss der reflectorischen Reizung auf den Sphincter vesicae internus und den Detrusor vesicae berichtet. Die Reizung des centralen Endes des Ischiadicus, des Ulnaris, Medianus, Radialis, Phrenicus und Splanchnicus hatte sowohl Sphinktererschlaffung als auch Detrusorencontraction ausgelöst. Reizung des centralen Endes des Vagus konnte weder Sphinktererschlaffung noch Detrusorenzusammenziehung zu Stande bringen. In der Wiener klinischen Wochenschrift vom Jahre 1896 Nr. 20 berichtete ich überdies über den Einfluss der Reizung des peripheren Endes des Splanchnicus. Die bezüglichen Untersuchungen haben ergeben, dass nur die gleichzeitige Reizung beider Splanchnici Contraction des Detrusors, der nach 5—10 Secunden Erschlaffung des Sphinkters folgte, auslöste. Reizung des einen peripheren Endes des Splanchnicus ergab kein Resultat. Diese vom Splanchnicus ausgehenden Reize gelangen nur auf dem Wege beider Hypogastrici und beider Erigentes zur Blase, denn der Effect der Splanchnicusreizung bleibt aus, sobald die genannten Nervenpaare durchschnitten werden. Im Jahre 1898 erschien im 73. Bande dieses Archives eine Arbeit von A. Hanč, betitelt „Experimentelle Studien über den Reflexmechanismus der Harnblase", aus dem Laboratorium von Basch. Bei seinen reflectorischen Reizungen gelangte Hanč zu den gleichen Resultaten, zu denen ich durch directe Nervenreizung gelangt war, nämlich dass der Sphinkter unabhängig von der Detrusorcontraction

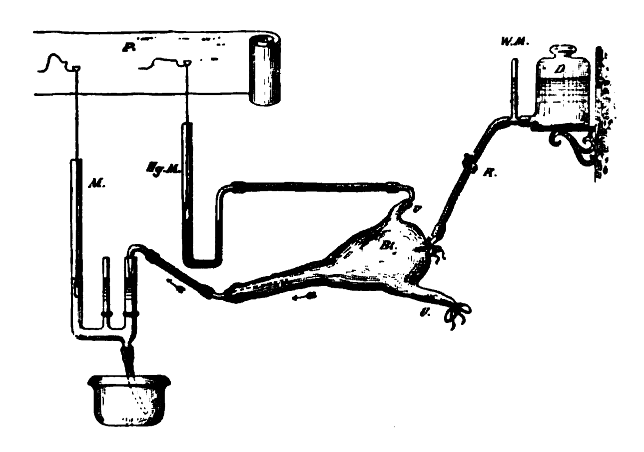
erschlaffe, dass also ohne Beihülfe des Detrusors der Blasenverschluss geöffnet werde. Dies ergab sich aus den Versuchen von Hanč aus folgender Ueberlegung. Aus den Zahlen, welche die Messung des Blasendruckes und die Messung der Menge der aus der Blase ausfliessenden Flüssigkeit ergaben, ging hervor, „dass die Ausflussmenge vom Blasendrucke allein nicht abhängig war. Wenn das aber der Fall war, so ergab sich mit zwingender Nothwendigkeit der Schluss, dass die Ausflussmenge von dem Grade der Erweiterung abhängt, welche der Sphinkter während des Reflexactes erfährt". „Das heisst mit anderen Worten: die Detrusorwirkung und die davon abhängige Steigerung des Blasendruckes ist eine Function der den Detrusor verkürzenden, und die Oeffnung des Sphinkters ist eine Function der denselben erweiternden (erschlaffenden) Nervenapparate." Als die Arbeit von Hanč schon abgeschlossen war, erschien in Virchow's Archiv 1897 Bd. 150 eine Arbeit von E. Rehfisch, welche eine weitere Bestätigung der von mir im Jahre 1892 aufgestellten Lehrsätze der Blaseninnervation erbrachte. Rehfisch wies für den Hund und für den Menschen gleich mir nach, dass das Ausfliessen aus der Blase fast immer erst dann erfolgt, wenn der Blasendruck von seiner Höhe abgesunken ist. Da man aber trotz der in den wesentlichen Punkten übereinstimmenden Resultate der Versuche, die ich, Hanč und Rehfisch vorgenommen hatten, doch noch immer an eine gewisse Mithülfe des Detrusors bei meinen früheren Versuchsanordnungen hätte glauben können, machte ich mit einer von Professor v. Basch ersonnenen neuen Versuchsanordnung, die ich in der Wiener medic. Wochenschrift 1901 Nr. 25 angegeben habe, bei directer Reizung der Erigentes eine Reihe von Versuchen, welche zeigten, dass die Sphinktererschlaffung ohne jede Beihülfe des Detrusors erfolge. Es erwuchs mir nun die Aufgabe, bei der gleichen Versuchsanordnung, durch welche die Detrusorwirkung ausgeschaltet wird, auch die Wirkung der reflectorischen Reizung auf den Sphinkter zu prüfen. Das Ergebniss dieser Untersuchungen soll den Inhalt dieser Mittheilungen[1]) bilden. Zum besseren Verständniss wiederhole ich hier in Abbildung und Wort diese bei meinen früheren und bei den neuen, hier mitgetheilten Versuchen eingehaltene Versuchsanordnung. Diese

---

1) Meine bis zum Mai 1901 ausgeführten Versuche, die in verschiedenen Zeitschriften enthalten sind, habe ich im fünften Heft der Wiener Klinik vom Jahre 1901 kurz zusammengefasst.

Versuchsanordnung versinnbildlicht die folgende Figur. Die Anordnung war folgende: In den Scheitel der Blase wurde durch eine kleine Oeffnung ein weites Glasrohr eingebunden. Dieses communicirte durch einen Kautschukschlauch mit einer Druckflasche *D*, deren Durchmesser 9 cm betrug, und welche, um den Stand des Wasserniveaus besser beurtheilen zu können, mit einem Steigrohr *WM* in Verbindung stand. Die Communication zwischen Blase und Druckflasche konnte durch einen Quetschhahn˙ *K* abgesperrt werden.

Ein Ureter war mit dem Quecksilbermanometer *Hg M* verbunden. In der Harnröhre war ein Glasrohr fixirt, welches zum Messgefäss *M* führte. Reizte ich nun das centrale Ende des Ischiadicus, wenn



die Verbindung bei *K* abgesperrt war, so contrahirte sich der Detrusor, und es stieg in Folge dessen das Quecksilbermanometer an; ausserdem erfolgte im Absinken des Detrusordruckes wie gewöhnlich eine Sphinktererschlaffung (Sphinkteröffnung) mit Ausfliessen von Flüssigkeit aus der Harnröhre in das Messgefäss. Wurde jedoch der Hahn bei *K* geöffnet, so dass der Binnenraum der Blase mit der Druckflasche und dem Steigrohr communicirte, so erhielt man ein anderes Resultat. Auf Reizung des centralen Endes des Ischiadicus erfolgte dann kein Ansteigen des Quecksilbermanometers und keine sichtbare Niveausteigerung im Steigrohr. Denn die Flüssigkeitsmenge, welche aus der Blase in die Druckflasche getrieben werden konnte, vermochte selbst für den Fall, dass sie 50 ccm betrug, das Niveau in der Druckflasche nur um 3 mm Wasserdruck zu erhöhen. Es versteht sich von selbst, dass eine derartige minimale Drucksteigerung unmöglich einen Grund für eine durch den Detrusor bedingte passive Er-

öffnung des Sphinkters abgeben kann. Ein Ausfliesen von Flüssigkeit durch die Harnröhre bei dieser Versuchsanordnung kann also nur auf eine Erschlaffung des Sphinkters bezogen werden. Bei dieser Versuchsanordnung war in allen Versuchen das centrale Ende des Ischiadicus in einen Reizträger gefasst worden, und war die Carotis mit einem Quecksilbermanometer verbunden. Wurde nun das centrale Ende des Ischiadicus gereizt, so zeigte sich die Wirkung der erfolgten Nervenreizung durch Ansteigen des Arteriendruckes, verzeichnete der Schwimmer im Messgefässe das Ausfliessen von Flüssigkeit aus der Harnröhre, und konnte ein allenfallsiges Ansteigen des Blasendruckes in Folge einer Detrusorencontraction am Quecksilbermanometer *Hg M* oder am Steigrohre *WM* abgelesen werden. Selbstredend wurden alle Versuche, um die Wirkung der quergestreiften Muskulatur auszuschalten, an curarisirten Thieren, die durch Morphium unempfindlich gemacht worden waren, ausgeführt. Nur muss man wegen der Wirkung des Morphiums auf die Blasennerven mit den Morphiumdosen vorsichtig sein.

I. Versuchsreihe. Der Quetschhahn *K* wird geschlossen, so dass kein Wasser aus der Blase gegen die Flasche zurückfliessen kann. Beide Hypogastrici und beide Erigentes sind erhalten. Wird nun das centrale Ende des Ischiadicus gereizt, so steigt zunächst der Blutdruck; alsbald steigt durch die Contraction des Detrusors der Blasendruck, und wenn dieser etwas absinkt, erfolgt Ausfliessen aus der Harnröhre, was der Schwimmer des Messgefässes anzeigt.

II. Versuchsreihe. Bei der gleichen Versuchsanordnung sind beide Hypogastrici durchtrennt, beide Erigentes erhalten. Das centrale Ende des Ischiadicus liegt im Reizträger. Wird jetzt, wenn der Hahn bei *K* geschlossen ist, der Ischiadicus gereizt, so erfolgt, so wie früher bei Erhaltung der Hypogastrici, Ansteigen des Quecksilbermanometers durch Blasencontraction, und sobald der Druck im Quecksilbermanometer abzusinken anfängt, öffnet sich der Sphinkter, und fliesst Flüssigkeit aus der Harnröhre gegen das Messgefäss ab. Wird nun der Hahn bei *K* geöffnet, so dass die Blase mit der Flasche *D* communicirt, und man reizt jetzt den Ischiadicus, so steigt weder im Quecksilbermanometer *Hg M* das Quecksilber noch kann man an dem Steigrohr *WM* eine Niveau-Erhöhung wahrnehmen; hingegen erfolgt nach einer Latenz von 4 Secunden Ausfliessen einer messbaren Menge von Flüssigkeit aus der Harnröhre gegen das Messgefäss. Dieser Versuch gelang jedes Mal und war durch denselben

neuerlich mit Sicherheit erwiesen, dass ohne Beihülfe des Detrusors bei durchtrennten Hypogastricis, also nur auf dem Wege der Erigentes, die Erschlaffung des Sphinkters erfolgt.

III. Versuchsreihe. Bei der gleichen Versuchsanordnung wird die Flasche so gestellt, dass Flüssigkeit im Strome aus der Flasche in die Blase, aus der Blase in die Harnröhre und aus der Harnröhre in das Messgefäss fliesst. Reizte ich jetzt reflectorisch bei erhaltenen Hypogastricis und Erigentes, so wurde jedes Mal das Fliessen unterbrochen. Ich durchtrennte nun zunächst beide Hypogastrici, weil ich aus meinen früheren Versuchen wusste, dass Reizung derselben Verschluss der Blase bedingt. Reizte ich jetzt das centrale Ende des Ischiadicus elektrisch, so floss in den ersten 2 Secunden der Reizung das Wasser etwas rascher ab, und wurde alsbald für so lange, als die Reizung dauerte, und noch über diese hinaus das Fliessen unterbrochen. Ich musste mich nun fragen, wodurch diese Unterbrechung veranlasst sei. Bei meinen ersten Versuchen hatte ich immer mit einem bis an das Caput gallinaginis reichenden Katheter gearbeitet, wodurch eine jede Einwirkung der Harnröhren- und der sonstigen den Blasenverschluss unterstützenden quergestreiften Muskulatur ausgeschlossen wurde. Zur Erklärung des auf reflectorischem Wege erfolgenden Verschlusses musste ich die Vermuthung heranziehen, dass dieser Verschluss entweder durch die reflectorisch gereizten Erigentes zu Stande kommt, oder dass trotz der Curarisirung auf anderen bisher nicht berücksichtigten Nervenwegen die quergestreifte, den Blasenverschluss unterstützende Muskulatur (Sphincter vesica externus von Henle, Harnröhrenmuskulatur) beeinflusst werde. Zur Entscheidung der Frage, welche Annahme die zulässige sei, wurde eine IV. Versuchsreihe ausgeführt. Es wurden bei gleicher Versuchsanordnung beide Hypogastrici und beide Erigentes durchtrennt und beide Pudendi interni[1]) präparirt und um jeden eine Fadenschlinge gelegt. Reizte man jetzt das centrale Ende des Ischiadicus, so wurde noch immer das Fliessen unterbrochen. Es war also erwiesen, dass dieser Blasenverschluss weder auf dem Wege der Hypogastrici noch auf dem Wege der Erigentes erfolgte. Auf dem Wege der Ausschliessung gelangte ich also zu der Annahme, dass

1) Syst. und topographische Anatomie des Hundes von Ellenberger und Baum, S. 343, 347 und 556. Berlin 1896.

der in Rede stehende Blasenverschluss durch andere Nerven bedingt werde. Welcher Nerv dabei in Betracht kommt, konnte nach den Versuchen von Frankl-Hochwart und Fröhlich[1]) über die Innervation des Anus des Hundes keinem Zweifel unterliegen. Frankl-Hochwart und Fröhlich haben nämlich erwiesen, dass nach Reizung des Pudendus internus trotz der Curarisirung der quergestreifte Sphincter ani sich contrahirte, sich also als schwer curarisirbar erwies und sich dem Curare gegenüber wie ein glatter Muskel verhält. Es war daher naheliegend, ein Gleiches auch für die beim Blasenverschluss mitbetheiligte quergestreifte Muskulatur (Sphincter vesicae externus von Henle und den Wilson'schen Muskel (den Compressor Urethrae) anzunehmen. Um dies sicherzustellen, wurden, wie schon gesagt, in der IV. Versuchsreihe bei der besprochenen Versuchsanordnung beide Hypogastrici und beide Erigentes durchtrennt und die Pudendi interni in Fadenschlingen gelegt. Liess man, wie schon geschildert, bei intacten Pudendis das Wasser fliessen und reizte das centrale Ende des Ischiadicus, so wurde das Fliessen unterbrochen. Riss man aber beide Pudendi interni durch und reizte dann reflectorisch, so wurde das Fliessen nicht mehr unterbrochen.

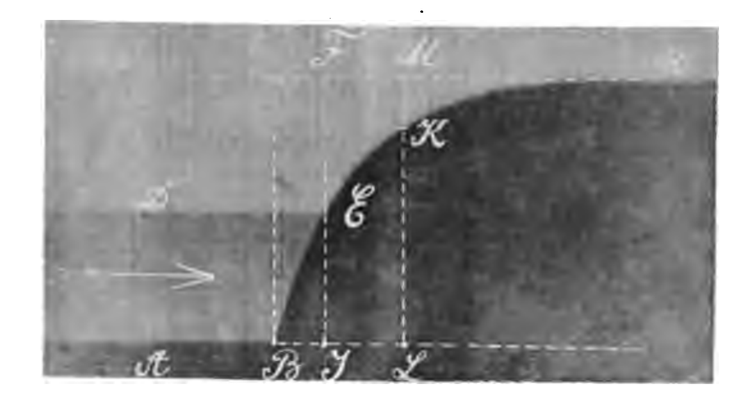
In einer V. Versuchsreihe wurden, um dieses Phänomen noch weiter zu prüfen, wieder beide Hypogastrici und beide Erigentes durchtrennt, beide Pudendi interni präparirt und deren periphere Enden in Reizträger gefasst. Liess man jetzt bei der bekannten Versuchsanordnung das Wasser aus der Flasche *D* gegen das Messgefäss fliessen, so wurde auf jede Reizung der peripheren Enden der Pudendi interni das Fliessen prompt unterbrochen. Es war also durch die Versuchsreihe IV und V erwiesen, dass thatsächlich durch die Curarisirung die Wirkung der quergestreiften Muskulatur der Blase und Harnröhre, soweit sie am Blasenverschluss betheiligt sind, nicht vollständig ausgeschlossen war. Ist dies aber der Fall, so ergibt sich daraus, dass auch auf reflectorischem Wege eine Contraction der quergestreiften Blasen- und Harnröhren-Muskulatur zu Stande kommen kann. Es handelte sich nun weiter darum, zu eruiren, ob durch bestimmte Gifte die quergestreifte Muskulatur, soweit sie am Blasenverschluss betheiligt ist, ausgeschaltet werden könne. Zu diesem Zwecke blieben in einer VI. Versuchsreihe alle Nerven intact, und liess ich Flüssigkeit im Strome aus der Blase in die Harnröhre

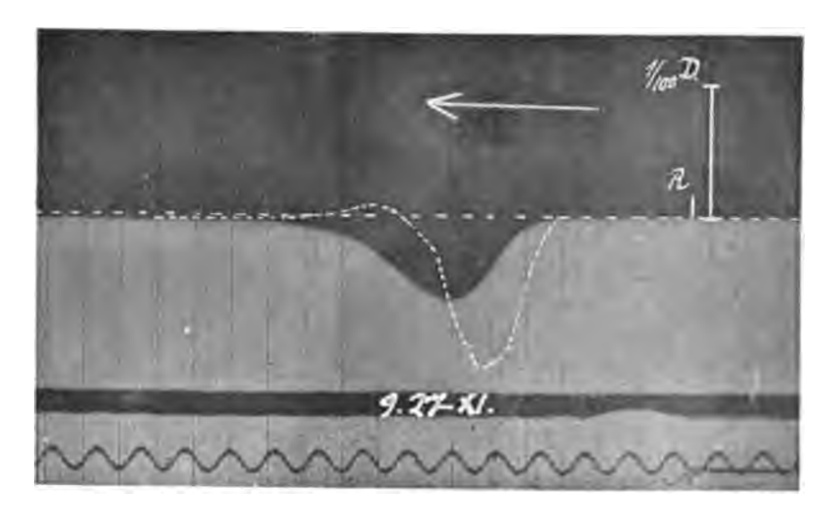
1) Pflüger's Archiv 1900.

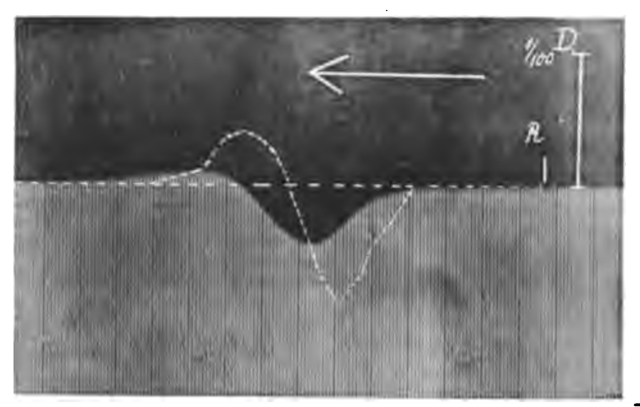
und aus dieser in das Messgefäss abfliessen. Bei reflectorischer Reizung des Ischiadicus wurde wie immer der Flüssigkeitsstrom unterbrochen. Wurde nun dem Thiere durch die Jugularis 0,50 g Chloralhydrat einverleibt und nochmals reflectorisch gereizt, es blieb der Schliessungseffect aus. Injicirte man jetzt dem Thiere 0,003 g Strychnin durch die Jugularis, so erfolgte nach reflectorischer Ischiadicusreizung wieder das Unterbrechen des Fliessens. Es war also unstreitig durch Chloralhydrat das Reflexcentrum, von welchem die Bahnen zum Pudendus internus abgehen, ausser Function gesetzt worden; durch Strychnin wurde diese Functionsfähigkeit wieder hergestellt. Es erübrigt schliesslich, den Einfluss des Curares auf den Blasenverschluss, namentlich soweit derselbe von dem Pudendis abhängig ist, zu prüfen. Zu diesem Ende wurden beide Pudendi präparirt und deren periphere Enden mit Reizträgern armirt. Zugleich wurde das periphere Ende eines Ischiadicus in einen Reizträger gefasst. Die periphere Reizung des Ischiadicus hatte nur den Zweck, die Wirkung des Curare auf die quergestreifte Muskulatur der Pfote sicherzustellen. In Versuchen, bei denen die schon bekannte Versuchsordnung eingehalten wurde, ergab sich Folgendes. Das Thier hatte zu Beginn des Versuches 5,00 g einer 0,50 %igen Curarelösung erhalten. Wurde jetzt bei einem Rollenabstand von 8,5 cm des Ischiadicus gereizt, so zuckte die Pfote deutlich; ebenso wurden bei gleichem Rollenabstand die Pudendi gereizt und dadurch das F l i e s s e n unterbrochen. Es wurden nun dem Thiere nach und nach $6^1/_2$ Spritzen i. e. 32,5 g einer 0,5 %igen Curarelösung einverleibt. Die im Verlaufe vorgenommenen Reizungen ergaben, dass die Pfote leicht zuckte und das Fliessen auch unterbrochen wurde. Erst als $6^1/_2$ Spritzen Curare eingespritzt worden waren, zuckten die Zehen kaum mehr, und erfolgte die Unterbrechung des Fliessens langsamer. Bei einem Rollenabstande von 7 cm nach Verabreichung einer weiteren halben Spritze Curare zuckte die Pfote kaum mehr, und wurde das Fliessen weniger stark unterbrochen. Bei Rollenabstand 6 zuckte die Pfote gar nicht mehr, es fand aber noch immer eine geringe Unterbrechung des Fliessens statt.

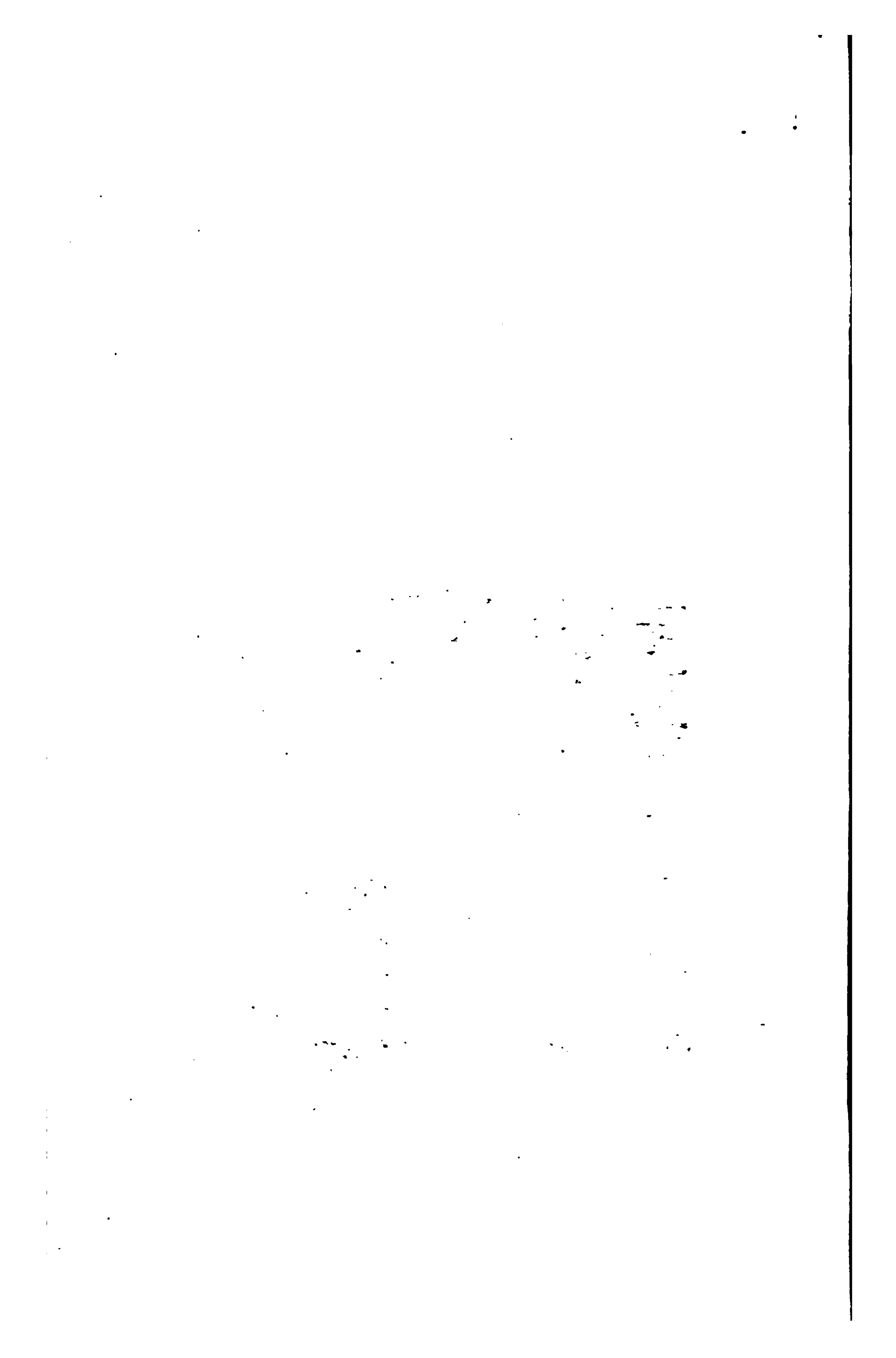
Bei Rollenabstand 5 zuckte nach längerer Einwirkung des Curares die Pfote gar nicht mehr, aber es erfolgte auf die Reizung des Pudendi interni noch Unterbrechen des Fliessens. Endlich erlahmte aber auch unter dem Einflusse des Curare diese Einwirkung des Pudendi auf die zum Blasenverschluss beitragende quergestreifte Muskulatur. Aus diesen Versuchen geht also hervor, dass die quergestreifte Musku-

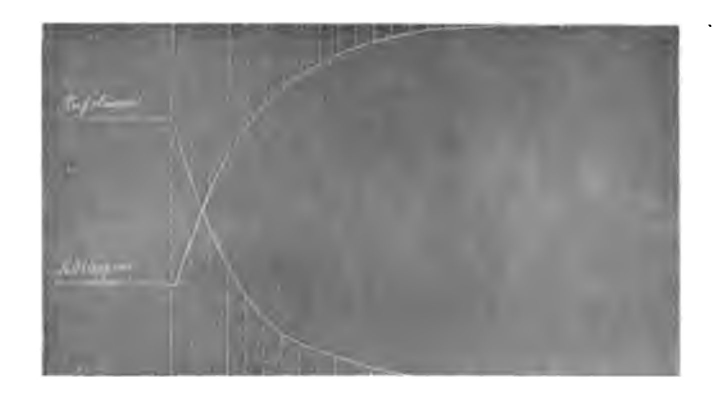
latur, soweit sie am Blasenverschlusse betheiligt ist, dem Curare längeren Widerstand leistet als die übrige quergestreifte willkürliche Muskulatur. In einer weiteren, VII. Versuchsreihe wurde der Tonus der den Blasenverschluss besorgenden Muskeln, namentlich der quergestreiften, bestimmt. D. h. es wurde jener Druck bestimmt, bei welchem das Fliessen ohne Reizung des Nerven unterbrochen wird. Diese Tonusmessung wurde während der Verabreichung einer 0,5 %igen Curarelösung vorgenommen. Nach Einverleibung von 5 g Curare betrug der Druck 23,10 mm Quecksilber. Nach 7½ Spritzen i. e. 37,50 g der genannten Curarelösung 17,6 mm Quecksilber. Bei 50 g der 0,5 %igen Curarelösung 15,40 mm Quecksilber. Nach Durchschneidung beider Pudendi interni blieb der Tonus noch immer auf der gleichen Höhe. Nachdem das Thier getödtet worden, sank der Sphinktertonus auf 14,3 mm Quecksilber. Hieraus ergibt sich, dass, je höher die Dosis des einverleibten Curares, desto geringer die Kraft des Sphincter vesicae internus wird. Des Weiteren ergibt sich, dass die quergestreifte Muskulatur, die beim Blasenverschluss mitwirkt, insbesondere die quergestreifte Muskulatur der Harnröhre, keinen wesentlichen Einfluss auf den Blasenverschluss übt, dass mithin der Tonus nur auf die glatte Muskulatur zu beziehen ist, und dass auch der Tod des Thieres den Tonus nur wenig herabsetzt.

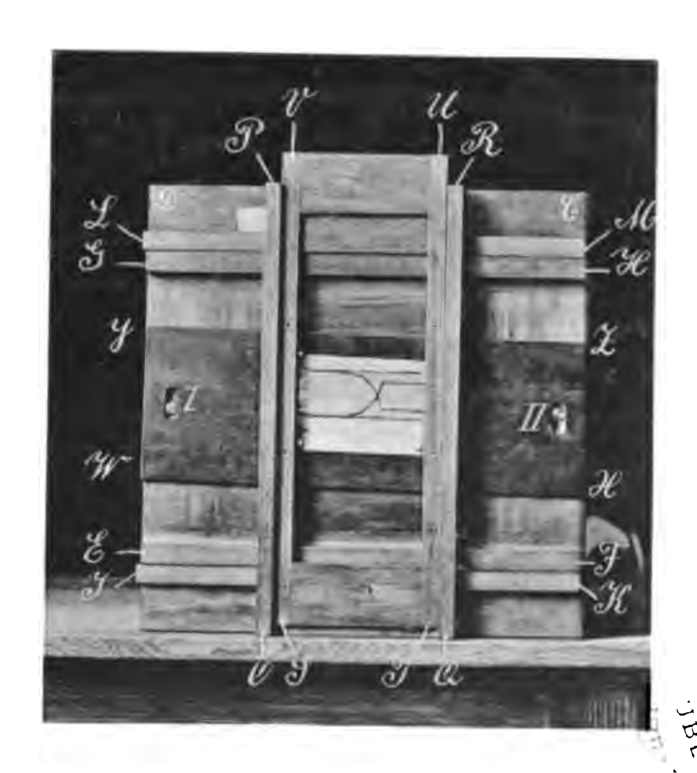

F
M
K
E
A
B
J
L


1/100 D.
R
9. 27-XI.


1/100 D.
R






P
V
U
R
L
G
M
Y
Z
I
II
W
E
F
K

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Leipzig.)

Ueber ein einfaches Verfahren zur Ausmessung der Capillarelektrometer-Curven.

Von

Siegfried Garten.

(Mit 6 Textfiguren und Tafel XII.)

Das unten näher geschilderte graphische Verfahren der Ausmessung der Capillarelektrometer-Curven lässt sich im Vergleich zu früheren Ausmessungsmethoden wesentlich rascher ausführen. Dasselbe gründet sich auf die bereits 1890 von Burch (1a) ausgesprochenen grundlegenden Bewegungsgesetze des Capillarelektrometers. In dieser Arbeit von Burch ist, wie weiter unten gezeigt wird, die von mir beschriebene Methode bereits angedeutet. Dass sie Burdon-Sanderson und Burch selbst nicht aufgriffen und ausarbeiteten, ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die genannten Forscher bei der Aufzeichnung der Curven sehr bald aus praktischen Gründen das rechtwinklige Coordinatensystem verliessen und an dessen Stelle sich der Polarcoordinaten bedienten (1b; siehe S. 91). Bei diesem Ordinatensystem ist aber ohne Weiteres die einfache graphische Methode nicht mehr anwendbar.

Ehe ich das von mir benutzte Verfahren ausführlich darstelle, will ich einen kurzen Ueberblick über die gegenwärtig praktisch angewendeten Messungsverfahren geben. Einen Ueberblick über dieselben zu gewinnen, halte ich nicht nur für den mit dem Capillarelektrometer selbst Arbeitenden, sondern auch für Jeden erwünscht, welcher die sich immer mehrenden mit dem Capillarelektrometer gemachten Untersuchungen verfolgt. Die Theorie des Instrumentes

ist im folgenden Ueberblick nicht berücksichtigt worden, sondern nur die rein praktische Frage: durch welche Mittel lässt sich aus der Capillarelektrometer-Curve die Curve ableiten, welche den Ablauf der elektromotorischen Kraft selbst wiedergibt?

Die meisten bisherigen praktisch angewendeten Reductionsverfahren erforderten eine, wenn auch einfache, sodoch zeitraubende Rechnung. Sie gründen sich alle auf das von Burch (1 a u. b) und unabhängig von ihm von Einthoven (2a) empirisch abgeleitete Grundgesetz: Die elektromotorische Kraft für jeden Punkt einer beliebigen Capillarelektrometer-Curve setzt sich aus zwei Summanden

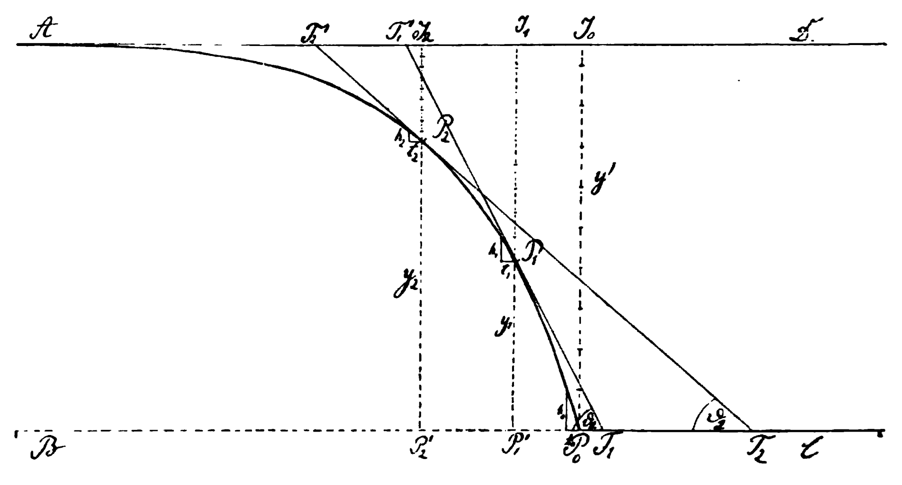


Fig. 1.

zusammen. Der erste ist durch die Erhebung oder Senkung des Quecksilbermeniscus gegeben, kurz durch den Abstand von der Nulllinie (d. h. von der Ausgangslage des Quecksilbers), in dem sich der Meniscus befindet. Der zweite Summand lässt sich aus der Geschwindigkeit berechnen, mit der in dem betreffenden Punkte das Quecksilber ansteigt oder absinkt. Beide Summanden, mit bestimmten aus der Aichungscurve[1]) abgeleiteten Constanten multiplicirt, geben, dann die in dem Punkte wirkende elektromotorische Kraft wieder.

Diese allen Messungsmethoden zu Grunde liegende Thatsache

1) Unter „Aichungscurve“ (Normalcurve) verstehe ich eine Curve, welche die Quecksilberkuppe zeichnet, wenn von einem bestimmten Moment ab eine constante elektromotorische Kraft auf das Capillarelektrometer einwirkt.

drückt beispielsweise Einthoven (2a) zunächst für eine Aichungscurve aus durch die Gleichung

$$y' = y + \frac{1}{c} \cdot \frac{dy}{dt}.$$

In vorstehender Fig. 1 ist dieser Satz an der Aichungscurve $CP_0 P_1 P_2 A$ veranschaulicht; dieselbe ist $^3/_2$fach vergrössert, genau einer Originalcurve von mir nachgezeichnet und entspricht der Bewegung des Quecksilbermeniscus, wenn eine constante elektromotorische Kraft von 0,02 Daniell plötzlich im Capillarelektrometer-Kreis auftritt. Die Curve ist mit einer solchen Geschwindigkeit aufgenommen, dass in der Fig. 1 1 cm der Abscisse 0,0117″ entspricht. Die Curve ist von rechts nach links zu lesen. Unter y' versteht nun Einthoven die Gesammtablenkung, die das Quecksilber durch eine bestimmte elektromotorische Kraft erfährt, also in Fig. 1 $P_0 J_0$. y ist die für jeden Curvenpunkt auf die Abscisse BC (Nulllinie) zu ziehende Ordinate. Also für P_1, y_1, für P_2, y_2 u. s. f. Endlich wird unter $\frac{dy}{dt}$ verstanden das Verhältniss einer in unendlich kleiner Zeit dt erfolgenden Erhebung dy, wie sie am betreffenden Curvenpunkt auftritt, zur Zeit dt selbst. Würde man die Curve für eine kurze Strecke als geradlinig auffassen können, so liesse sich dieses Verhältniss aus dem Quotienten $\frac{h_1}{t_1}$, $\frac{h_2}{t_2}$ berechnen, wobei $t_2 = t_1$ gesetzt wird. Dieses Verfahren ist thatsächlich, um ungefähr Näherungswerthe zu erhalten, von Burdon-Sanderson (3b) angewendet worden. Genauer ist das Verhältniss $\frac{dy}{dt}$ gegeben durch die Tangente des Winkels, welchen eine im Punkte P_1 oder P_2 an die Curve gezogene Berührungslinie mit der Abscisse bildet. Also für den Punkt P_1 wäre $\frac{dy}{dt} = tg\,\vartheta_1$, für den Punkt P_2 wäre $\frac{dy}{dt} = tg\,\vartheta_2$.

Um zu veranschaulichen, dass die obige Gleichung Einthoven's für die verschiedenen Curvenpunkte der Aichungscurve ihre Gültigkeit hat, führe ich für die beiden Punkte P_1 und P_2 die Ausmessung der Werthe von y, y' und ϑ an und gebe nach Einsetzen dieser Werthe in die Einthoven'sche Gleichung die Berechnung der Constanten c wieder. Ist die Gleichung richtig, so müssen sich für c an den verschiedenen Punkten Werthe ergeben, die nur in der Grenze der Messungsfehler von einander abweichen. Einthoven

(2a u. 2b) und bereits früher in ähnlicher Weise Burch (1b S. 95) haben für Aichungscurven derartige Messungen ausgeführt, und damit nachgewiesen, dass für praktische Zwecke die Aichungscurven einer guten Capillare hinreichend genau der Gleichung folgen[1]).

Hier also nur ein Beispiel. An einer dreifach vergrösserten Copie der Fig. 1 wurde gemessen:

$$\begin{aligned} P_1 P_1' &= y_1 = 63 \text{ mm}, \\ P_2 P_2' &= y_2 = 10{,}8 \text{ „} \\ \vartheta_1 &= 62^{\circ}\, 30', \\ \vartheta_2 &= 41^{\circ}\, 0', \\ P_0 J &= y' = 144{,}0 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Hieraus berechnet sich c leicht nach Umformung obiger Gleichung in:

$$c = tg\,\vartheta \,/\, (y' - y).$$

Führt man die Rechnung für den Punkt P_1 und P_2 aus, so erhält man die beiden Werthe

$$c = 0{,}237,$$
$$c = 0{,}241.$$

Die oben angeführte Gleichung gilt aber nicht nur für jeden Punkt einer Aichungscurve, sondern auch für jeden einer beliebigen Curve, welche der Quecksilbermeniscus bei einer stetig wechselnden elektromotorischen Kraft aufzeichnet. Bei einer solchen ist y' die gesammte in einem Curvenpunkt wirkende elektromotorische Kraft, und diese setzt sich auch hier aus den beiden Summanden zusammen, einer bereits in einem Punkte P (s. Textfig. 2) erfolgten Erhebung y und einer durch die Steilheit der Curve im Punkte P sich ergebenden Componente $\frac{1}{c} \cdot tg\,\vartheta$. Dass dieser zweite Summand jeder Zeit in der Steilheit zum Ausdruck kommen kann, rührt davon her, dass

1) Allerdings darf man — was Hermann und Gildemeister (4 a) hervorgehoben haben — nicht erwarten, dass die Ausschläge mathematisch genau der Gleichung folgen. Capillaren zu erhalten, welche genau logarithmische Normalcurven liefern, ist nach ihnen ein jedenfalls schwer zu verwirklichender Fall. Die genannten Forscher untersuchten den Curvenverlauf zahlreicher Aichungscurven mit Hülfe des sogen. logarithmischen Decrementes, worunter die Differenz der Logarithmen zweier äquidistanter Ordinaten zu verstehen ist. Bei einer streng logarithmischen Curve müsste diese Differenz an allen Curvenstellen constant bleiben. Meist findet man aber während des Verlaufes der Aichungscurve eine Zunahme oder Abnahme des Decrementes.

sich am Capillarelektrometer, abgesehen von extremen Fällen, keine merkliche Trägheit geltend macht. So tritt bei plötzlicher Einschaltung einer elektromotorischen Kraft, scheinbar im Moment der Schliessung, die Bewegung des Quecksilbers ein, wie Burch (1b) und in jüngster Zeit auch Hermann und Gildemeister (4a S. 508) hervorgehoben haben. Ebenso bleibt auch der Meniscus, wenn er sich unter Einfluss einer elektromotorischen Kraft bewegt, und diese dann plötzlich ausgeschaltet wird, für unsere Beobachtungsmittel augenblicklich stehen und bewegt sich in derjenigen Curve gegen die Nullstellung zurück, die seinem Abstand von derselben entspricht[1]).

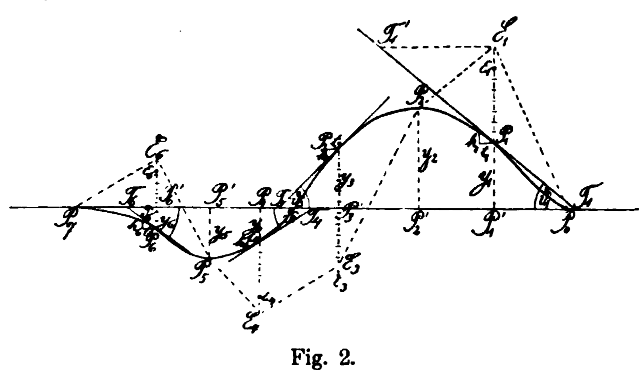


Fig. 2.

Um bei einer beliebigen Curve die oben beschriebene Art der Curvenberechnung zu veranschaulichen, ist von der in vorstehender Textfigur abgebildeten Curve $C P_0 P_2 P_5 P_7 B$ eine Reihe zusammengehöriger Werthe von ϑ und y für eine Anzahl von Curvenpunkten ausgemessen und hieraus die jeweilig herrschende elektromotorische Kraft berechnet. Die betreffende Elektrometercurve in Textfig. 2 ist beliebig angenommen, doch wird von ihr vorausgesetzt, dass sie mit derselben Geschwindigkeit und derselben Vergrösserung wie die Aichungscurve aufgezeichnet sei.

Die in folgender Tabelle gemessenen Werthe von ϑ werden positiv gerechnet, wenn an dem zugehörigen Punkte P das Quecksilber aufwärts sich bewegt; geht dasselbe abwärts, so sind die Werthe mit negativem Vorzeichen zu versehen. An allen den Punkten der Curve, wo dieselbe der Nulllinie BC parallel läuft, also in $P_0 P_2 P_5 P_7$,

1) Vergl. die Versuche von Burch (1 b) Taf. III.

	Es wurde gemessen		Nach der Gleichung $y' = y + \frac{1}{c} tg\,\vartheta$ wird y' berechnet, wobei c nach Aichung (s. o.) = 0,24 angenommen wird	
	mm			
Für P_1	$y_1 = +25{,}5$	$\vartheta_1 = +40^{\circ}\ 0'$	$\frac{1}{c} tg\,\vartheta_1 = +35{,}0$ mm	$y_1' = +60{,}5$ mm
„ P_2	$y_2 = +38{,}8$	$\vartheta_2 = 0^{\circ}$	$\frac{1}{c} tg\,\vartheta_2 = 0{,}0$ „	$y_2' = +38{,}3$ „
„ P_3	$y_3 = +23{,}0$	$\vartheta_3 = -45^{\circ}\ 30'$	$\frac{1}{c} tg\,\vartheta_3 = -42{,}4$ „	$y_3' = -19{,}4$ „
„ P_4	$y_4 = -12{,}5$	$\vartheta_4 = -32^{\circ}\ 30'$	$\frac{1}{c} tg\,\vartheta_4 = -26{,}5$ „	$y_4' = -39{,}0$ „
„ P_5	$y_5 = -19{,}1$	$\vartheta_5 = 0^{\circ}$	$\frac{1}{c} tg\,\vartheta_5 = 0{,}0$ „	$y_5' = -19{,}1$ „
„ P_6	$y_6 = -\ 8{,}0$	$\vartheta_6 = +\ 3^{\circ}$	$\frac{1}{c} tg\,\vartheta_6 = +25{,}4$ „	$y_6' = +17{,}4$ „

wird ϑ gleich 0, also fällt hier der Summand $\frac{1}{c} tg\,\vartheta$ weg, und die elektromotorische Kraft entspricht hier ohne Weiteres der Erhebung des Quecksilbers. Aus den in der letzten Reihe der Tabelle berechneten Werthen von y kann nun die Curve der elektromotorischen Kraft construirt werden, wie in Fig. 2 geschehen ist. Die punktirte Curve $P_0\,E_1\,P_2\,E_3\,E_4\,P_5\,E_6\,P_7$ stellt, natürlich nur grob angenähert, den Verlauf der elektromotorischen Kraft dar[1]). Will man die Werthe von y' anstatt in Millimeter in Daniell umrechnen, so braucht man sich nur daran zu erinnern, dass bei der Aichungscurve die Gesammtablenkung des Quecksilbers 144 mm betrug. Dieser Werth entsprach einer elektromotorischen Kraft von 0,02 Daniell. Also ist 1 mm Erhebung $\frac{0{,}02}{144}$ Daniell. Mit diesem Coefficienten ist der jeweilige in Millimetern gemessene Werth der elektromotorischen Kraft zu multipliciren, um den Werth derselben in Daniell zu erhalten.

1) Alle Werthe sind bei Curven gemessen, welche die dreifache Grösse besassen wie die Textfiguren. Um also die Ordinaten der Textfigur zu erhalten, sind die in der Tabelle berechneten Werthe von y' durch 3 zu dividiren. Kleine Abweichungen in Bruchtheilen eines Millimeters der Ordinaten von den sich so aus der Tabelle ergebenden Werthen sind dadurch bedingt, dass bei Zeichnung der Textfigur 2 die Ordinaten mit der Constanten 0,232 statt 0,24 berechnet worden waren.

Eine Vereinfachung der Curvenberechnung verdanken wir Burch (1 b). Dieser zeigte, dass beim Polar-Coordinatensystem die Polarsubnormale der Tangente des Neigungswinkels gleich zu setzen ist[1]), wie man letzteren erhält, wenn man die Curve in das rechtwinklige Coordinatensystem umzeichnet. Durch Textfig. 3 wird dieses Messverfahren in seinen Hauptzügen dargestellt. *ABCD* ist die photographische Platte. Dieselbe hat sich bei der Aufnahme im Pendelapparat um einen Punkt *E* gedreht, so dass sich bei ruhendem Quecksilbermeniscus an Stelle einer Horizontallinie der Kreisbogen *FG* verzeichnet hätte. Wirkt nun im Punkte *H* eine constante elektromotorische Kraft auf das Quecksilber ein, so wird sich dasselbe in der Curve *HJK* bewegen.

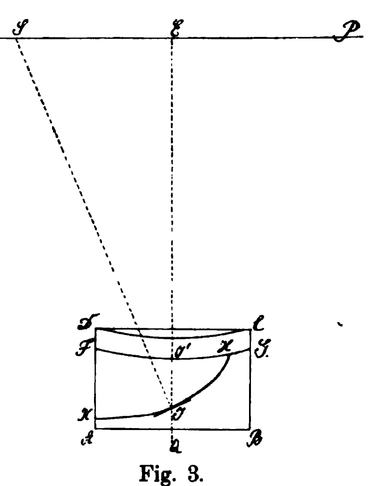


Fig. 3.

Auf dem Burch'schen Messtisch bringt man nun das Negativ in der in beistehender Fig. 3 gezeichneten Weise an. Die Platte liegt auf einer (nicht mitgezeichneten) Drehscheibe ebenso weit vom Drehpunkt *E* entfernt, wie bei der Aufnahme vom Drehpunkt des Pendels. Dabei ist sie so orientirt, dass eine bei der Aufnahme verzeichnete Kreislinie *FG* jetzt concentrisch zu *E* ist.

OP in der Textfig. 3 stellt einen langen Maassstab dar; ein zweiter, genau darauf senkrechter Maassstab *EQ* liegt unterhalb des Messtisches. Sein Bild wird aber mit Hülfe einer Linse durch einen Ausschnitt des Tisches hindurch in der durchscheinenden photographischen Platte *ABCD* entworfen. Die Patte ist, wie schon erwähnt, um *E* concentrisch drehbar, so dass bei Drehung der Drehscheibe mit der Platte das Bild des feststehenden, optisch in der photographischen Platte entworfenen Maassstabes *EQ* an immer anderen Punkten *J* die Curve *HK* schneidet.

Für jeden Punkt *J* ist dann die elektromotorische Kraft gegeben durch den Werth *J'J*, den Abstand von der Nulllinie, wie er direct

1) Burch (1 b) verweist (S. 92. 1892) bezügl. der mathematischen Begründung auf Williamson's „Differential Calculus, 7th edition".

an der in dem Negativ entworfenen Theilung von EQ ablesbar ist, und SE, der Polarsubnormalen. Um diese letztere zu finden, errichtet man auf der an die Curve gelegten Tangente im Berührungspunkt J das Loth JS. Dieses schneidet die auf EQ senkrecht stehende Gerade OP in S; dann ist SE die zum Punkte J gehörige Polarsubnormale. Letzterer Werth ist, genau so wie früher die Tangente, mit einer aus der Aichungscurve sich ergebenden Constanten zu multipliciren.

Es ist also für die Bestimmung der elektromotorischen Kraft eines jeden Punktes nur die Messung zweier Längenwerthe JJ' und SE erforderlich. Allerdings muss man zuvor in J die Tangente anlegen und dann mit einer sinnreichen, von Burch angegebenen Spiegeleinrichtung den Punkt bestimmen, wo das auf die Tangente gefällte Loth SJ die Linie OP schneidet. Wenn irgend ein Punkt J ausgemessen werden soll, wird also zunächst die Platte $ABCD$ concentrisch um E gedreht, bis der herausgegriffene Punkt J auf den Radius EQ fällt. Auf der optisch in der Platte entworfenen Scala EQ ist dann ohne Weiteres für den betreffenden Punkt J die Erhebung JJ' in Scalentheilen abzulesen. Die so gefundenen Werthe lassen sich, wie oben für das rechtwinklige Coordinatensystem beschrieben wurde, durch Multiplication mit einer aus der Aichungscurve sich ergebenden Constanten in Daniell bezw. Volt umrechnen.

Diese von Burch ausgebildete Methode fand namentlich in England Verwendung[1]). Doch ist in neuerer Zeit Burdon-Sanderson (3 *b*) davon abgekommen. Er überträgt jetzt die im Polar-Coordinatensystem (mit dem Pendelapparat) erhaltenen Curven durch Messung der Abstände der Curvenpunkte von einer Nulllinie in das rechtwinklige Coordinatensystem, indem er in zeitlich gleichen Zwischenräumen von beispielsweise 0,002″ die Ordinaten ausmisst.

Wenn er in dieser Weise zunächst irgend eine Aichungscurve auf Millimeterpapier überträgt, so findet er für jeden Punkt, dass

---

1) Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens findet man bei Burch (1 c) und in der Arbeit von Burdon-Sanderson (3 a). Ich selbst habe das Verfahren ausgiebig benutzt (5 a). Auf Taf. XI Fig. 15 b und 15 b′ der zuletzt citirten Arbeit sind zwei von derselben Aufnahme nach der beschriebenen Methode analysirte Curven wiedergegeben, die zu verschiedenen Zeiten versehentlich zwei Mal analysirt und aufgezeichnet waren. Sie zeigen, wie weit ungefähr die Fehler der Curvenausmessung gehen. Vergleiche auch ebenda S. 338 u. Taf. XIII Fig. XII die Analyse von 4 Aichungscurven.

in je 0,002″ das Quecksilber immer um einen bestimmten Werth, bei seiner Capillare um $^1/_{40}$ der ganzen Erhebung, die bei dauerndem Stromschluss eintreten würde, sich hebt bezw. senkt.

In Textfig. 1 (S. 614) ist diese Proportionalität an den drei Punkten $P_0 P_1 P_2$ der Aichungscurve geometrisch dargestellt. Ueberall sind die Erhebungen h_0, h_1, h_2 nach den gleichen Zwischenzeiten t_0, t_1 und t_2 gemessen. Trägt man nun auf den Ordinatenstrecken, die zwischen den Curvenpunkten $P_0 P_1 P_2$ und der Asympstote liegen, also auf $P_0 J_0$, $P_1 J_1$, $P_2 J_2$, die zugehörigen h_0, h_1 und h_2 ab, so zeigt sich, dass h_0 etwa $9^1/_2$ Mal in $P_0 J_0$, h_1 dagegen genau 9 Mal in $P_1 J_1$ und h_2 ebenso oft in $P_2 J_2$ aufgeht. Für ein solches rohes geometrisches Verfahren ist natürlich volle Genauigkeit nicht zu erwarten; diese würde ja erst im Grenzfall eintreten, wenn während der Zeit t_1 die Curve wirklich geradlinig bliebe und dann $\frac{h_1}{t_1}$ mit $tg\,\vartheta_1$ zusammenfiele. Ausserdem ist ja, wie oben erwähnt, die Capillarelektrometer-Curve immerhin nur eine Annäherung an eine streng logarithmische Curve, und nur für letztere ist mathematisch genau überall diese Proportionalität vorhanden.

Für jede beliebige andere elektromotorische Kraft wird nun ebenfalls die in beispielsweise 0,002″ erfolgte Erhebung des Quecksilbers mit der Constanten, also 40, multiplicirt, den einen Theil der in dem betreffenden Punkte wirksamen elektromotorischen Kraft geben. Es wäre das der Antheil der elektromotorischen Kraft, welcher durch die Steilheit der Curve in dem oben ausgerechneten Beispiele (vgl. Textfig. 2) durch $tg\,\vartheta$ gefunden wurde. Der andere Theil der Kraft ist durch die Erhebung über die Nulllinie gegeben. Beide Summanden liegen nun bereits in demselben Maass vor (*mm* des Coordinatenpapiers), und es kann so direct die Curve der elektromotorischen Kraft aufgetragen werden. Die Umrechnung in Volt bezw. Daniell geschieht in der bereits oben beschriebenen Weise, unter Bezugnahme auf die Excursionsgrösse des Quecksilbers in Millimetern bei einer bestimmten, dauernd eingeschalteten elektromotorischen Kraft.

Diese Art der Bestimmung lässt sich in Textfig. 2 (S. 617) ausführen, da die dort abgebildete Curve bei der gleichen Geschwindigkeit wie die Aichungscurve aufgenommen sein soll. Man wird also an den verschiedenen Punkten P wie bei der Aichungscurve die in gleichen Zeiten t erfolgten Erhebungen h messen und diese, im vorliegenden Fall mit dem Factor 9 multiplicirt, auf den Ordinaten

von P aus in der Bewegungsrichtung des Meniscus auftragen[1]). So gelangt man zu den Punkten ε_1, ε_3, ε_4, ε_6. Für die Punkte P_2 und P_5, wo $tg\ \vartheta$ gleich 0 ist, würde diese Methode recht falsche Werthe liefern, da hier innerhalb der Zeit t_1 die Curve sich schon recht bedeutend krümmt. Ueberhaupt werden je nach der Veränderung der Geschwindigkeit der Quecksilberbewegung in den betreffenden Punkten die Werthe abwechselnd, bei zunehmender Steilheit zu gross (ε_3), bei abnehmender zu klein (ε_1 ε_4 ε_6). Für eine ungefähre Annäherung reicht aber auch dieses einfache Verfahren, wie ein Blick auf Textfig. 2 (S. 617) lehrt, aus, besonders wenn man, wie es Burdon-Sanderson gethan hat, die Messung sorgfältig für möglichst kleine Zeitwerthe ausführen würde.

Ausser durch diese rechnerischen Methoden lässt sich nach Burch (*1a*, genauer *1b* S. 86) beim rechtwinkligen Coordinatensystem rein constructiv die elektromotorische Kraft finden. Dies ist durch den Umstand möglich, dass bei einer logarithmischen Curve — und eine solche stellt ja näherungsweise die Aichungscurve eines guten Elektrometers dar — die Subnormale eine constante Grösse ist. Unter Subnormale versteht man eine Strecke auf der Asymptote, also in Textfig. 1 eine Strecke auf AD. Dieselbe liegt zwischen dem Fusspunkt eines Lotes, das von einem Curvenpunkt, beispielsweise P_1 auf AD gefällt wird, und dem Schnittpunkt der zu dem gleichen Curvenpunkte gehörigen Tangente. Für den Punkt P_1 wäre also $T'_1\ J_1$ die zugehörige Subnormale, für den Punkt P_2, $T'_2\ J_2$. Diese Strecken sind nun für alle Punkte P einander gleich.

Hat man durch eine Aichungscurve einmal die Subnormale bestimmt, so lässt sich für eine beliebige Curve die elektromotorische Kraft in Millimetern oder Scalentheilen construiren. Man zieht durch den betreffenden Curvenpunkt, so in Textfig. 2 (S. 617) durch P_1 eine Tangente und fällt vom Punkte P_1 ein Loth auf die Nulllinie $P_6\ P_7$. Wo nun der Horizontalabstand zwischen der durch P_1 gelegten Verticalen $P_1'\ E_1$ und der durch P_1 gelegten Tangente $T_1\ T_1'$ gleich wird der Subnormalen, also gleich $T_1'\ J_1$, liegt die Asymptote derjenigen Aichungscurve, welche im Punkte P_1 den gleichen Anstieg besitzt wie die zu bestimmende Curve von Fig. 2.

Es ist also, so betrachtet, $P_1\ E_1$ die Strecke, um die sich das Quecksilber noch heben würde, wenn die in P_1 vorhandene elektro-

1) In Textfig. 2 entsprechen die Theilstriche der Linien $\varepsilon_1 P_1$, $\varepsilon_2 P_2$ nicht den abgetragenen Strecken h_1, h_2 u. s. f.

motorische Kraft dauernd bestehen bliebe. Der Ordinatenabstand vom Punkte P bis zu jener Asymptote gibt also den der Steilheit entsprechenden Antheil der im Punkte P herrschenden elektromotorischen Kraft in Scalentheilen wieder. In demselben Maasse ist aber der andere Summand, der Abstand des Punktes P_1 von der Nulllinie $P_1 P_1'$, direct gegeben. Beide zusammen liefern die gesammte elektromotorisshe Kraft im Punkte P_1, nämlich $P_1' E_1$.

Eine andere constructive Methode, welche ebenfalls für Curven im rechtwinkligen Coordinatensystem gilt, hat Einthoven (2 *b*) angegeben. Sie hat den Vorzug vor der Burch'schen Methode, dass sie auch bei grösseren Abweichungen der Curve von der logarithmischen Curve richtige Werthe liefern muss[1]). Textfig. 4 (entsprechende Abb. Einthoven's in Pflüger's Archiv Bd. 60 S. 92) erläutert sein Verfahren. $A P_0 P_1 C$ stellt eine Aichungscurve dar. Auf dieser liegt eine feine, durchscheinende Millimeternetztheilung $EFGH$, und zwar wird diese so gelegt, dass EF parallel AB läuft. Zieht man nun durch P_0 oder P_1 Tangenten an die Curve, so werden diese die obere Linie der Netztheilung in einem Punkte T_0 bzw. T_1 schneiden. Fällt man von diesem Punkte auf die untere Kante der Netztheilung EF_1 die Lothe $T_0 T_0'$ bezw. $T_1 T_1'$, so liegen zwischen den Fusspunkten der Lothe und den Schnittpunkten der zugehörigen Tangenten mit der Linie EF die Strecken s_0 bezw s_1.

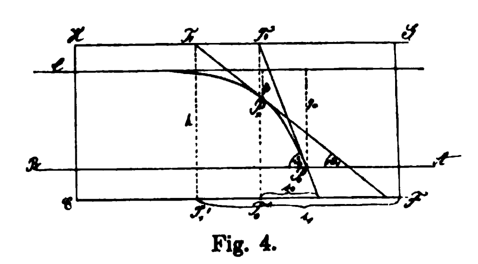


Fig. 4.

Es ist dann $\frac{h}{s_1} = tg\ \vartheta_1$, $\frac{h}{s_0} = tg\ \vartheta_0$. Sind also die Strecken $T^1 T_1'$ und $T_0 T_0'$ gleich lang, so ist $\frac{1}{s_0}$ bezw. $\frac{1}{s_1}$ das Maass der Tangente. Hieraus könnte man die Werthe von η_0 bezw. η_1 u. s. f. berechnen. Viel einfacher ist es aber, η_0 bezw. η_1 direct zu construiren. Zu diesem Zwecke trägt man zunächst für zahlreiche Punkte einer

1) Allerdings müsste man voraussetzen, dass ein und dieselbe abnorme Form der Aichungscurve im Bereich der ganzen zu Messungen benutzten Capillarstrecke erhalten würde, dass es also gleichgültig wäre, von welchem Punkt der bezeichneten Strecke aus die Bewegung des Quecksilbers bei der Aichungscurve beginnen würde. (Siehe auch Anmerkung S. 624.)

Aichungscurve alle Werthe von s als Abscissen, alle Werthe von η als Ordinaten auf einem Stück Millimeterpapier ein. Man erhält so eine „Constantencurve", in welcher für jeden Werth von s sich ein zugehöriger Werth von η finden lässt.

Wie bei einer Aichungscurve wird bei einer beliebigen anderen Curve der Werth von η in der beschriebenen Weise ausgemessen. Wendet man die Constantencurve an, so können auch Capillaren benutzt werden, welche Aichungscurven geben, deren Verlauf von der logarithmischen Form wesentlich abweichen darf. Bei Anwendung der Constantencurve wird nur die Voraussetzung gemacht, dass der durch die Steilheit zum Ausdruck kommende Theil der elektromotorischen Kraft, wenn er die gleiche Grösse besitzt, auch immer die gleiche Steilheit des Anstieges liefert[1]).

---

1) Einthoven hat diese Messungsmethode ausführlich dargestellt in Pflüger's Archiv Bd. 60. 1895. Dort ist auch die Veränderung des Curvenverlaufes bei verschiedenem Widerstand im äusseren Kreis berücksichtigt worden.

Auf Veränderungen des Widerstandes im Kreise bin ich hier nicht eingegangen, da es für praktische Zwecke ausreichen dürfte, die Aichungscurven bei einem ähnlichen Widerstand aufzunehmen, wie er beim Experiment Verwendung findet. (Vergl. Einthoven.)

Gegen die Beobachtung Einthoven's, dass bei vielen Capillaren Abweichungen von der logarithmischen Form auftreten, wendet sich Burch in einer neueren Arbeit. Derartige Abweichungen beobachtet er nur bei „sticky" Capillaren, d. h. bei solchen Capillaren, in denen das Quecksilber an bestimmten Stellen hängen bleibt. Die Arbeit Gildemeister's und Hermann's hat nun freilich gezeigt, dass diese Abweichungen (Zu- oder Abnahme des logarithmischen Decrementes) sehr häufig vorkommen, ohne dass es sich um gröbere Fehler der Capillare (im obigen Sinne) handelt. Es wird demnach die Constantencurve Einthoven's doch in vielen Fällen für genauere Rechnung angezeigt sein.

Dagegen erwähnt Burch ebenda einen zweiten wichtigen Punkt. In einer längeren Capillarstrecke sind nicht immer alle Stellen gleichbeschaffen, und es kann vorkommen, dass der gleiche Antheil der elektromotorischen Kraft, wie er durch den Anstieg des Quecksilbers zum Ausdruck kommt, an den verschiedenen Stellen der Capillare etwas verschiedene Geschwindigkeiten der Quecksilberbewegung liefert. (Kenntlich an den von einander abweichenden Werthen der Polarsubnormalen.) Durch eine sinnreiche Calibrirungsmethode ist nun Burch mit Hülfe von zwei Aichungscurven im Stande, für jeden kleinen Theil der zur Messung benutzten Capillarstrecke eine etwas verschiedene Constante zu berechnen, mit welcher der an einer bestimmten solchen Capillarstelle bei beliebigen Curven gemessene Werth der Polarsubnormalen bezw. Tangente multiplicirt die richtige elektromotorische Kraft liefert. Burch hebt mit Recht hervor, dass diese Calibrirungsmethode etwas von der Einthoven'schen Constantencurve ganz Verschiedenes ist. Während die Einthoven'sche Methode sich

Auf die in neuester Zeit von Hermann und Gildemeister mitgetheilte Berechnungsmethode der elektromotorischen Kraft brauche ich hier nicht einzugehen. Sie dürfte wohl nur in ganz besonderen Fällen, wo es auf streng mathematische Genauigkeit des Curvenverlaufes ankäme, Verwendung finden.

Für die Reduction der Capillarelektrometer-Curven diente also bisher entweder ein Verfahren, bei dem nach Ausmessung der Erhebung des Quecksilbers über die Nulllinie und der Tangente bezw. eines derselben entsprechenden Werthes (Polarsubnormale Burch's) die elektromotorische Kraft durch Rechnung zu finden ist, oder man verfuhr rein constructiv, wie z. B. Burch unter Verwendung der Subtangente im rechtwinkligen Coordinatensystem. Endlich kam ein gröberes Annäherungsverfahren in Anwendung (Burdon-Sanderson). Bei diesem wurde an Stelle der Tangente die in einer bestimmten kurzen Zeit erfolgte Erhebung des Quecksilbers gemessen. Diese Strecke wurde mit einem aus der Aichungscurve sich ergebenden Factor multiplicirt und graphisch auf der aus dem Polarcoordinatensystem in das rechtwinklige System umgezeichneten Curve aufgetragen.

Alle diese Verfahren gründeten sich auf die Annahme, dass die Aichungscurven streng logarithmische Curven darstellten. Ein Fortschritt wurde durch die Arbeit von Einthoven gemacht. Er zeigte, dass sich auch Capillarelektrometer verwenden lassen, bei denen die Bewegung des Quecksilbers von der logarithmischen Curve abweicht. Seine Methode ist rein constructiv, doch verlangt auch sie eine Reihe von Manipulationen, wie Anlegen der Tangente, Ablesen einer durch diese bestimmten Strecke, Aufsuchen des zu letzterer gehörigen Ordinatenwerthes in der Constantencurve und endlich Auftragen desselben in die auszumessende Curve.

Das Verfahren nun, welches ich im Folgenden mittheile, unterscheidet sich von den bisher geschilderten dadurch, dass sich ohne jede Hülfslinie direct auf der photographischen Copie der Capillarelekrometer-Curve an jedem beliebigen Punkte die elektromotorische Kraft in der einfachsten Weise bestimmen lässt.

---

gegen die Fehler des gesammten Curvenverlaufes, unabhängig von der jeweilig vom Quecksilbermeniscus durchlaufenen Capillarstelle, richtet, berücksichtigt das Burch'sche Verfahren Fehler in der Steilheit, wie sie individuell den verschiedenen kleinen Capillarstellen anhaften können.

Wie schon oben erwähnt, kann man den Grundgedanken des Verfahrens bereits in der 1890 mitgetheilten Notiz von Burch (1a) finden. Er sagt dort (S. 92) ungefähr folgendermaassen: Der eine Weg, die in jedem Punkt wirksame elektromotorische Kraft zu finden, ist, die Curve mit einer Normalcurve zu vergleichen. Auf letzterer muss ein Punkt gefunden werden, dessen Tangente in der Richtung mit derjenigen Tangente zusammenfällt, die an dem betreffenden Punkt der zu bestimmenden Curve gezogen wurde.

Der verticale Abstand dieses Punktes auf der Normalcurve von seiner Asymptote wird den Rest der elektromotorischen Kraft ausdrücken. Bemerkt sei dazu, dass der erste Theil der elektromotorischen Kraft durch den verticalen Abstand des Punktes von der Ausgangslinie der zu bestimmenden Curve gegeben ist.

Am anschaulichsten wird dieser Satz durch ein Beispiel. In Fig. 1 Taf. XII sind zwei Aichungscurven *ABC* und *DEC* über einander copirt, was man an dem doppelten Coordinatensystem ohne Weiteres erkennt. Die erstere ist bei Einschaltung einer elektromotorischen Kraft von $^2/_{100}$ Daniell gewonnen, die letztere bei $^1/_{100}$ Daniell. Wie man sieht, überdecken sich bei der Uebereinanderlagerung die Ränder beider Curven vollkommen, so dass von der kleineren Curve nur die horizontale Strecke *DE* sichtbar bleibt. Eine so vollkommene Congruenz wie in dem angeführten Beispiel ist nur an den günstigsten Capillarstellen zu erhalten. In anderen Fällen beobachtet man an einigen Stellen der Doppelcurve zwei um ein Geringes von einander abweichende Conturen. Wäre nun in Fig. 1 nur die elektromotorische Kraft von *DEC* bekannt, *ABC* dagegen eine bei einer unbekannten Potentialdifferenz aufgenommene Curve, so würde für letztere im Punkte *E* die elektromotorische Kraft gegeben sein durch zwei Summanden. Der erste Summand wäre die Erhebung des Punktes *E* über die Nulllinie *EJ*, der zweite ist durch die Aichungscurve *DEC* gegeben. Diese steigt im Punkt *E* ebenso steil an wie die unbekannte Curve *ABC*. D. h. an dieser Stelle bewegte sich der Quecksilbermeniscus in beiden Curven mit derselben Geschwindigkeit. Bliebe in der unbekannten Curve die im Punkte *E* wirksame elektromotorische Kraft bestehen, so würde sich das Quecksilber bis zur Asymptote *FC* der Aichungscurve *DEC* heben. Es ist also *FE* der zweite Summand der elektromotorischen Kraft, und die gesammte elektromotorische Kraft der unbekannten Curve *ABC* beträgt im Punkte

E, *FJ*. In gleicher Weise findet man für einen Punkt *K* die elektromotorische Kraft als Summe von *KL* und *KM*, also gleich *ML*.

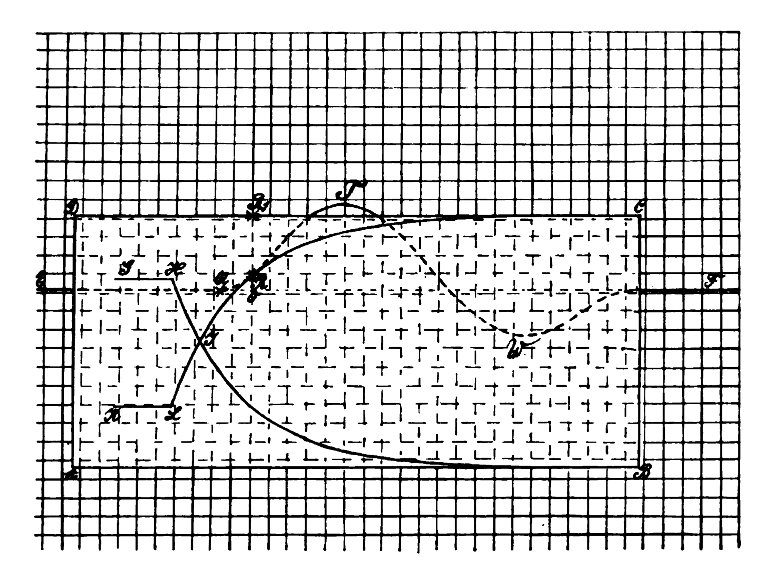


Fig. 5.

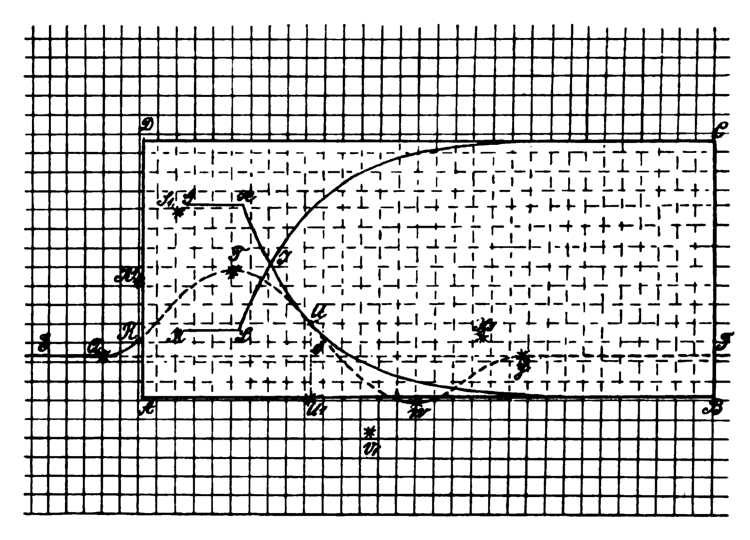


Fig. 6.

Die Ausmessung einer ganz beliebigen Curve ist nun in den Textfig. 5 und 6 schematisch dargestellt. In den Figuren ist *EQTWF* eine zu bestimmende Capillarelektrometer-Curve. *GHB*

und KLC seien zwei Aichungscurven derselben elektromotorischen Kraft, aber von entgegengesetzter Richtung. Sie müssen mit derselben Geschwindigkeit wie die zu bestimmende Curve aufgenommen sein.

In Fig. 5 ist Aichungscurve KLC so auf die darunterliegende punktirte Curve $EQTWF$ gelegt, dass sich beide Curven in R decken und hier beide Curven dieselbe Richtung haben. Dabei müssen die Aichungscurven so aufgelegt sein, dass ihre Asymptoten DC und AB der Nulllinie EF immer parallel gehen. Ist dies Alles erfüllt, so wird die elektromotorische Kraft in R gegeben sein als Summe von OR und RR_1. Für den letzteren Summand gilt die Ableitung: Wenn die im Punkte R vorhandene elektromotorische Kraft dauernd anhielte, so würde, wie die Aichungscurve zeigt, das Quecksilber bis in die Asymptotenhöhe DC steigen. Es würde also die Strecke RR_1 zurücklegen. Demnach ist OR_1 die im Curvenpunkt R herrschende elektromotorische Kraft.

In Fig. 6 soll bei derselben Curve die elektromotorische Kraft für den Punkt U bestimmt werden. Hier ist die bei absteigender Stromesrichtung aufgenommene Aichungscurve $GHUB$ so angelegt, dass im Punkte U beide Curven denselben Verlauf haben. Vorausgesetzt wiederum, dass die Asymptote AB bei dieser Lage der Curve EF parallel läuft, so beträgt der durch die Steilheit der Curve gegebene Summand der elektromotorischen Kraft UU_1 und zwar, da er nach abwärts gerichtet ist, mit — Vorzeichen. Der zweite, aus der Einstellung des Quecksilbers sich ergebende Summand ist OU. Diese Strecke ist + zu rechnen, da sie von der Nulllinie nach aufwärts geht. Die Summe beider Werthe ist also OU_1 mit — Vorzeichen. Ein Werth, wie man ihn ohne Weiteres erhält, wenn man nach Einstellung der Curve HUB vom Punkte U senkrecht nach abwärts bis an den Asymptotenrand AB zum Punkte U_1 geht.

In dieser an zwei Beispielen erläuterten Weise ist für jeden Curvenpunkt einer Curve $EQTUWB$ die elektromotorische Kraft dadurch zu finden, dass man nach Anlegung der Aichungscurve von dem betreffenden Curvenpunkt je nach der Bewegungsrichtung des Quecksilbers senkrecht auf- oder abwärts bis zur Asymptote der entsprechenden Aichungscurve geht. Der absolute Werth der jeweiligen elektromotorischen Kraft lässt sich dann ohne Weiteres finden, da man durch die Aichungscurve weiss, eine wie grosse Ablenkung durch eine bestimmte elektromotorische Kraft erzeugt wird.

Für diese wohl denkbar einfachste Art der Construction einer der

elektromotorischen Kraft entsprechenden Strecke sind aber gewisse Vorbedingungen nothwendig, und daraus erklärt es sich jedenfalls, dass man die soeben geschilderte Methode nicht eher benutzt hat.

Zunächst ist eine Grundbedingung für eine derartige Messung, die freilich auch für die anderen Methoden der Auswerthung gilt, dass Aichungscurven und alle zu bestimmenden Curven bei der gleichen Geschwindigkeit aufgenommen werden, da ja sonst der aus der Geschwindigkeit des Anstieges sich ergebende Summand der elektromotorischen Kraft zu gross oder zu klein ausfallen würde. Zweitens müssen die Curven im rechtwinkligen Coordinatensystem aufgenommen, oder sonst erst aus dem Polarcoordinaten-System in ersteres umgezeichnet werden[1]).

Zur Aufnahme der Curven im rechtwinkligen Coordinatensystem benutzte ich eine ganz einfache, aus Holz hergestellte Trommel von 24 cm Durchmesser. Dieselbe konnte nach Art des Engelmann-schen Pantokymographions durch Federkraft losgeschnellt werden. Durch in die peripheren Theile der Trommel eingegossene Bleigewichte gelingt es, eine für kurze Strecken hinreichende gleichförmige Geschwindigkeit zu erzielen. Von Zeit zu Zeit muss natürlich wie bei allen durch Federkraft angetriebenen Apparaten die Geschwindigkeit controlirt und unter Umständen durch Nachstellen einer Schraube wieder genau auf den früheren Werth gebracht werden. Die Fig. 1 und 3 auf Taf. XII sind mit dem beschriebenen Apparat aufgenommen und zeigen, wie eine Betrachtung der Stimmgabelcurve (100 Schwingungen in 1″) lehren, eine gute Uebereinstimmung in der Geschwindigkeit. Eine genauere Beschreibung des Apparates werde ich bei anderer Gelegenheit geben.

Die Messung der Curven wird nun direct auf den photographischen Copien vorgenommen, und zwar dient mir hierzu der in Fig. 4 Taf. XII abgebildete Apparat. Der wesentlichste Bestandtheil desselben ist die Celluloidplatte mit den beiden Aichungscurven. Eine Copie derselben (Negativ der Messplatte) siehe in Fig. 5 Taf. XII. Zur genauen Messung müssen diese Curven als dünne, scharfe Striche auf glasklarem Grunde erscheinen, und ausserdem muss beiderseits

1) Anfangs, ehe mir ein Apparat zur Verzeichnung im rechtwinkligen Coordinatensystem zur Verfügung stand, habe ich diese Art der Umzeichnung aus dem Polar-Coordinatensystem bei einer grossen Zahl von Curven ausgeführt, und kam immer noch wesentlich rascher zum Ziel als bei Anwendung des Burch'schen Messverfahrens.

genau in der Asymptote der Curven die Platte abgeschnitten werden. Man wird daher keine Glasplatten, sondern ausschliesslich Celluloidfilms hierfür verwenden. Um diese „Messplatte" herzustellen, legt man, wie die Copie derselben Fig. 5 Taf. XII zeigt, die beiden Aichungscurven so auf einander, dass die Asymptoten derselben parallel verlaufen, und dass sich, der Platzersparniss halber, die Curven in ihrem mittleren Theil überkreuzen. In dieser Lage wird am besten mit Hülfe eines Projectionsapparates bei starker Vergrösserung die Linie, welche der Grenze zwischen Quecksilber und Schwefelsäure entspricht, auf einem grossen Bogen genau nachgezeichnet und dann durch Photographie auf ihre ursprüngliche Grösse reducirt. Es empfiehlt sich vor dieser Aufnahme eine Schaar senkrecht zu den Asymptoten verlaufender feiner Linien auf dem vergrösserten Curvenbild einzutragen (vgl. Fig. 4 Taf. XII), die später bei der Ausmessung das senkrechte Herauf- oder Heruntergehen von einem bestimmten Curvenpunkte sehr erleichtern. Das Negativ wird dann auf ein dünnes Eastman-Film copirt und lässt sich nun leicht genau in den Asymptoten abschneiden.

Diese Messplatte wird mit Hülfe von Reisszwecken, wie Fig. 5 Taf. XII in $^1/_7$ der nat. Grösse zeigt, auf den beweglichen Träger des Messapparates aufgespannt. Derselbe besteht aus dem Grundbrett *ABCD*, auf diesem befinden sich die Schienen *EF*, *GH*. Längs dieser lässt sich der Rahmen *JKLM* leicht, aber unter guter Führung verschieben. In diesem Rahmen sind wiederum *OP*, *QR* zwei Schienen, denen entlang sich der Rahmen *STUV* senkrecht zur ersten Bewegungsrichtung verschieben lässt.

Ist nun in diesem letzteren die Curvenplatte eingespannt, so kann sie leicht nach jedem beliebigen Punkt durch die beschriebene doppelte Parallelführung gebracht werden, ohne dass sie also eine Drehung in einer zur Tafelebene senkrechten Achse erleidet.

Dicht unter der Messplatte befindet sich nun das Brett *WXYZ*, welches bei I und II durch federnde Klemmen festgehalten, und in kleinen Excursionen um eine zum Grundbrett senkrechte Achse drehbar ist. Auf diesem Brett wird nun die zu messende Copie mit Reisszwecken festgespannt und zunächst durch Verschieben bei I und II eine horizontale Abscisse[1]) der Copie den Asymptotenlinien

1) Ueber die Methode der Verzeichnung eines Coordinatensystems während der photographischen Aufnahme vgl. meine oben citirte Arbeit (5 a).

der Aichungscurve parallel gestellt. Da die Messplatte dicht über der Copie hinstreicht, ist bei der nun folgenden Ausmessung eine parallactische Verschiebung völlig vermieden.

Es wird nun bei einer Reihe von Punkten der auszumessenden Curve, in der Weise, wie oben schematisch dargestellt ist, eine der Aichungscurven so angelegt, dass in dem betreffenden Punkt beide Curven gleich gerichtet sind. Von der Mitte der hier scheinbar beiden Curven gemeinsamen Strecke geht man unter Führung der zugleich auf der Messplatte angegebenen Ordinaten senkrecht nach oben bezw. unten bis zum Rand der Platte. Hier markirt man durch Nadelstich den Schnittpunkt zwischen der Ordinate des Curvenpunktes mit der Asymptote.

In sehr kurzer Zeit wird auf diese Weise für eine ausreichende Zahl von Curvenpunkten die elektromotorische Kraft ermittelt. Durch Verbindung[1]) der gefundenen Punkte erhält man dann eine Curve, die ungefähr den Verlauf des elektrischen Vorgangs darstellt.

In Fig. 2 und 3 Taf. XII sind Beispiele für derartige Messungen gegeben. Die Curven sind von rechts nach links zu lesen. Zur Messung der Geschwindigkeit dient die Schwingung der Stimmgabel, eine Stimmgabelschwingung = $^1/_{100}$″, ein Scalentheil = 0,0008″.

In Fig. 3 und 2 ist ein doppelphasischer und ein fast einphasischer Actionsstrom vom Nervus olfactorius des Hechtes aufgezeichnet. Um von der in Betracht kommenden elektromotorischen Kraft einen Begriff zu geben, ist auf der rechten Seite der Copien eine Strecke abgetragen, welche gleich ist der halben Excursionsgrösse des Quecksilbers bei den Aichungscurven, also $^1/_{100}$ Daniell entspricht.

Der Vorzug der geschilderten Methode besteht in der Raschheit der Ausführung und des Wegfalles jeglicher Rechnung. Ferner erspart man sich jede Umzeichnung, da sich die Punktmarkirung und das Ausziehen der Curve auf der photographischen Copie selbst ausführen lässt.

Was die Genauigkeit der Messung anlangt, so dürften die Fehler

---

1) Zum Ausziehen der Linien auf den Photographien verwende ich Deckweiss (Wasserfarbe), das, auf die Photographien aufgetragen, noch hinreichend mit den hellen Theilen des Bildes contrastirt.

2) Hierzu käme noch die Möglichkeit, dass sich ähnlich wie bei der Einthoven'schen Constantencurve auch bei meinem Messverfahren Fehler ausgleichen könnten, die sich aus Abweichungen der Aichungscurve von der logarithmischen ergeben würden. (Vergl. hierzu Anm auf S. 624.)

derselben sich in den gleichen Grenzen bewegen wie bei der Messung der elektromotorischen Kraft durch Anlegen der Tangenten. Voraussetzung für das Verfahren ist die Benutzung einer verhältnissmässig rasch reagirenden Capillare, die es möglich macht, die ganze Aichungscurve auf der Messplatte zu verzeichnen. Doch auch bei einer langsamer reagirenden Capillare lässt sich die Methode anwenden. Nur muss man die Aichungscurve dann, in einzelne Theile zerlegt, so auf die Messplatte zeichnen, dass der horizontale Rand der Messplatte für die einzelnen Theile der Curve die Asymptote bildet.

Literaturverzeichniss.

1 a) Burch, On a Method of determining the value of rapid variations of a difference of potential by means of the Capillary Elektrometer. Proceedings of the R. Society of London vol. 48 p. 89. 1890.

1 b) Burch, On the time relations of the excursions of the Capillary Electrometer etc. Philosophical Transactions 1893, 183 A p. 82.

1 c) Burch, The Capillary Elektrometer in Theorie and Practice. London 1896. Reprinted from the „Electrician“[1]).

1 d) Burch, On the Calibration of the Capillary Electrometer. Proceedings of the Royal Soc. of London vol. 59 p. 18. 1896.

2 a) Einthoven, Lippmann's Capillarelektrometer zur Messung schnell wechselnder Potentialunterschiede. Pflüger's Archiv Bd. 56 S. 528.

2 b) Einthoven, Ueber den Einfluss des Leitungswiderstandes auf die Geschwindigkeit der Quecksilberbewegung in Lippmann's Capillarelektrometer. Pflüger's Archiv Bd. 60 S. 91. 1895.

3 a) Burdon-Sanderson, The electrical response to stimulation of muscle. Journal of Physiology vol. 18 p. 117. 1895.

3 b) Burdon-Sanderson, The electrical response to stimulation of muscle. Part II. Journal of physiology vol. 23 p. 326. 1898—1899.

4 a) Hermann und Gildemeister, Untersuchungen über die Eigenschaften und die Theorie des Capillarelektrometers. Pflüger's Archiv Bd. 81 S. 491. 1900.

5 a) Garten, Ueber rhythmische elektrische Vorgänge im quergestreiften Skelettmuskel. Abhandl. d. Kgl. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Bd. 26 Nr. 5.

1) Es ist diese Schrift die ausführlichste Arbeit, welche die praktische Handhabung des Elektrometers zum Gegenstand hat.

Pierer'sche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.

Pierer'sche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.